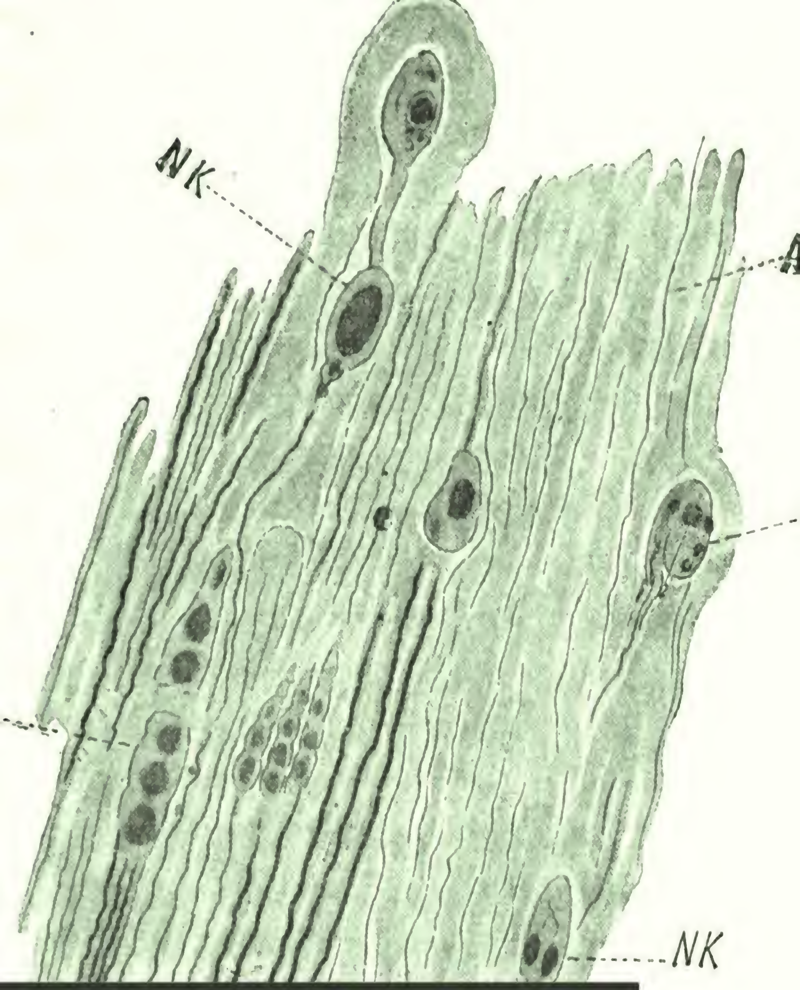


Die normale Histologie menschlicher Zähne

Otto Walkhoff

DIE

NORMALE HISTOLOGIE

MENSCHLICHER ZÄHNE

EINSCHLIESSLICH

DER MIKROSKOPISCHEN TECHNIK

VON

DR. OTTO WALKHOFF
HOF-ZAHNARZT UND LEHRER DER CONSERVIERENDEN ZAHNHEILKUNDE
AN DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

MIT 9 LICHTDRUCKTAFELN UND VIELEN HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG.
VERLAG VON ARTHUR FELIX.
1901.

Seinen Freunden

Herrn Professor Dr. Berten-München,

Herrn Professor Dr. Miller-Berlin

und

Herrn Professor Dr. Partsch-Breslau

gewidmet

vom Verfasser.

Vorwort.

Bei der Herausgabe meiner beiden mikrophotographischen Atlanten, welche im wesentlichen der bildlichen Darstellung der normalen und pathologischen Histologie der Zähne dienen sollten, fühlte ich immerwährend den Mangel einer zusammenhängenden und umfassenden Wiedergabe der Litteratur über die Zahngewebe. Die Abhandlungen der Autoren über dieses Thema sind sowohl in naturwissenschaftlichen, medizinischen, zahnärztlichen Fachzeitschriften, als auch als selbständige Monographien über einzelne Gewebe oder sogar als Teile grösserer Werke vorhanden und deshalb oft kaum für den Einzelnen zu erlangen, geschweige denn als Leitfaden für den Anfänger brauchbar. Die Pathologie der Zähne war ja von Wedl in meisterhafter, zusammenhängender Weise in seinem Buche, welches 1870 erschien, bearbeitet. Aber seit dieser Zeit wurden sehr viele und wichtige Entdeckungen gemacht, so dass auch hier die kürzlich im gleichen Verlage erschienene neue Bearbeitung dringend nötig war. Die normale Histologie der Zähne ist aber überhaupt noch nicht als selbständiges den Gegenstand erschöpfendes Lehrbuch bearbeitet.

Aus diesem Grunde ist, wie ich glaube, dem Studium der Zahnhistologie noch so wenig Beachtung geschenkt worden, sowohl beim Studiengang der Zahnärzte selbst, als auch bei der Staatsprüfung derselben. Wenn aber die Zahnheilkunde, sowie es jetzt allgemein das Bestreben ist, wirklich eine vollberechtigte Abteilung der medizinischen Wissenschaften werden will, so muss zunächst hier Wandel geschaffen werden. Neben der allgemeinen Anatomie ist das Spezialstudium der Histologie der Zähne das verbindende Glied der praktischen Zahnheilkunde mit der allgemeinen Medizin, und die Grundlage bildet natürlich wieder die normale Histologie der-

selben. Bei dem kurzen Studium der Zahnärzte schien mir eine zusammenhängende Darstellung der normalen Histologie der Zähne ein dringendes Bedürfnis. Ich empfand das noch mehr, als ich meine hiesige Lehrthätigkeit begann. Die teilweise sehr wertvollen Einzelabhandlungen konnten für einen systematischen Unterricht kein Ersatz sein. Es kam hinzu, dass eine mikroskopische Technik, wie sie speziell für die Histologie der Zähne infolge der Eigenart der Gewebe förmlich zugeschnitten sein muss, besonders berücksichtigt zu werden verdient. Andererseits ist das Studium der mikroskopischen Anatomie der Zähne von grösster Bedeutung für die spätere praktische Thätigkeit eines angehenden Zahnarztes. Sie lehrt nicht allein den feineren Bau der Strukturelemente, sondern der junge Praktiker lernt dabei vor allen Dingen die Lage der Gewebe zu einander kennen.

Wer längere Zeit Zahnschliffe und Schnitte gemacht und untersucht hat, wird z. B. mit weit grösserem Verständnis an die Präparation der Höhlen gehen, auf etwaige Reaktionserscheinungen der lebenden Gewebe dabei achten und seine eventuellen Massnahmen danach treffen als ein Student, welcher sich niemals darum kümmerte, wie es leider früher häufiger der Fall war. Es werden bei einer besseren Durchbildung der Zahnärzte in diesem Fache auch nicht mehr ganz unwissenschaftliche Behauptungen, welche den histologischen Verhältnissen geradezu Hohn sprechen, aufgestellt werden. Wenn z. B. jemand die Wurzelkanäle der Zähne in jedem Falle vollständig reinigen und solide ausfüllen will, so hat derselbe wahrscheinlich noch niemals durch ein Mikroskop gesehen, viel weniger damit gearbeitet. Gleichzeitige Berücksichtigung der Zahngewebe auf wissenschaftlicher Basis und exakteste Ausführung der manuellen Thätigkeit bilden die Grundlagen der heutigen conservierenden Zahnheilkunde. Der Ausbau dieser beiden Faktoren wird noch grössere Erfolge zeitigen. Aus diesen Gründen entstand vorzugsweise der vorliegende Leitfaden. Ich glaube aber auch dem Histologen vom Fach damit einen Dienst erwiesen zu haben, weil die einschlägigen Arbeiten so weit wie möglich über den vorliegenden Gegenstand berücksichtigt wurden. Ich habe eine ausgiebige Nachprüfung der litterarischen Angaben stattfinden lassen müssen. Das vorliegende Werk bringt aber auch

manches Neue, indem es die Ergebnisse meiner mehr als fünfzehnjährigen Thätigkeit auf diesem Gebiete wiedergibt. Das Studium der Zahngewebe gehört ja sicherlich zu den interessantesten der allgemeinen Histologie, und die grössten Capacitäten auf letzterem Gebiete haben häufig die Zahngewebe einer besonderen Würdigung bei ihren Forschungen unterworfen. Immerhin kann man mit Recht aussprechen, dass noch vieles auf diesem Gebiete zu thun übrig bleibt.

Bei der Abfassung des Leitfadens konnte ich mich aus den angeführten Gründen durchaus nicht etwa auf eine compilatorische Arbeit beschränken. Einerseits ist das Material in der Litteratur zu zerstreut und von verschiedenen Gesichtspunkten und Bedürfnissen aus abgefasst. Andererseits waren viele Ergebnisse und Angaben früherer Autoren nachzuprüfen. So musste ich nahezu bei jeder Einzelheit Kritik üben, um auf Grund eigner Untersuchungen und Beobachtungen nach Möglichkeit das Richtige zu ermitteln.

Bei diesen Nachprüfungen stellte es sich nun einerseits heraus, dass die Verschiedenartigkeit der Meinungen oft davon herrührte, dass die Autoren Material verschiedenen Alters untersucht hatten. Andererseits ist nicht zu leugnen, dass die menschlichen Zähne durchaus nicht alle histologischen Einzelheiten der Gewebe in der Klarheit zeigen, wie für einen einzelnen Fall manche Tierzähne. Wo dies zu konstatieren war, habe ich in dem vorliegenden Werke auch die Zahnstruktur anderer Tierklassen des besseren Verständnisses wegen herangezogen. Im übrigen gilt der Inhalt des Werkes im wesentlichen den Zahngeweben des Menschen. Die Abbildungen sind grösstenteils nach meinen Mikrophotogrammen gefertigt, sodass eine objektive bildliche Darstellung nach Möglichkeit garantiert wird. Wo meine Ergebnisse sich deckten, oder wo die Resultate überhaupt nicht zu vereinbaren waren, habe ich einerseits die klassischen Abbildungen eines John Tomes, v. Ebner u. A. in den Text aufgenommen, andererseits aber abweichende Bilder von Autoren wiedergegeben, um zu erneuter Diskussion Anregung zu geben.

Die Mikrophotographie erwies sich mir für die Histologie der Zahngewebe im Laufe der letzten fünfzehn Jahre als unschätzbar. Selbstverständlich müssen dabei die Mikrophotogramme nach

[illegible] mit möglichster Exaktheit ausgeführt werden. Die verschiedenen Stadien des Wachstums der Zellen, [illegible] bei ihrer formativen [illegible] Alterserscheinungen und [illegible] Vorgänge an diesem Gebiete können mit [illegible] sicher festgestellt werden. [illegible] habe ich in dem vorliegenden Buche [illegible] ich hoffe dadurch manchen Fachgenossen [illegible]

[illegible]

[illegible]

Erstes Kapitel.

Kurzer Abriss der Entwicklung menschlicher Zähne mit Bezug auf die Entstehung der Zahngewebe.

Die Zahnentwicklung des Menschen setzt im embryonalen Leben desselben schon sehr früh ein. Das aus dem oberen Keimblatt stammende, die Mundhöhle auskleidende Epithel, welches aus einer Lage Cylinderepithel und mehrfach darüber geschichteten Lagen Plattenepithel besteht, bildet den Ausgangspunkt für die Zahnanlagen. Die ersten Spuren einer Umbildung dieser Epithellagen sieht man schon bei einem 6 wöchentlichen Fötus. Nahe am Kieferrande verdickt sich das Plattenepithel stark und bildet den Zahnwall älterer Autoren. Gleichzeitig aber senkt sich das Cylinderepithel in einfacher Lage und zwar auf Kieferdurchschnitten flaschenförmig erscheinend, in Wahrheit aber sich als Rinne über den ganzen Kieferrand erstreckend, (Fig. 1 bei *a* und *a*¹) in das darunterliegende Bindegewebe. Diese Einstülpung des Cylinderepithels bildet die erste

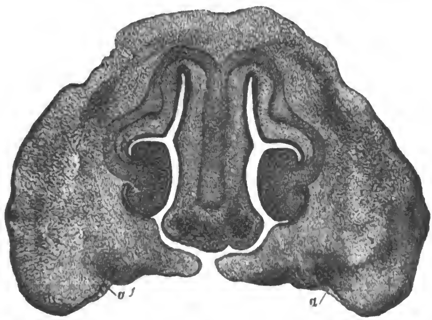


Fig. 1.
Erste Anlage der Zahnkeime bei einem Schweinsembryo von 3 cm Länge. *a* u. *a*¹ Zahnleiste. (Vergr. 20.)

Zahnanlage und erstreckt sich allmählich von vorn nach hinten über Ober- und Unterkiefer. Bei der Einsenkung des Cylinderepithels in Flaschenform (Tafel I, Fig. 2 bei *e*) werden zahlreiche Zellen des Plattenephitels mit hineingezogen, sodass die Rinne

immer ausgefüllt erscheint, und nicht etwa, wie Goodsir annahm, leer ist. In einem sagittalen Längsschnitt des Kiefers erscheint das Gebilde infolge weiteren Wachstums bald strangförmig und wurde deshalb von Kollmann als Epithelialstrang, von Kölliker als Schmelzkeim bezeichnet. Später wurde dafür der Name „Schmelzleiste" und endlich von Hertwig, Röse und Kükenthal „Zahnleiste" eingeführt. Von dieser Zahnleiste entspringen an der tiefsten Einsenkung sehr bald glocken- oder maulbeerförmige Fortsätze, indem das untere Ende des Epithelialstrangs nach den Seiten hin, also mehr horizontal, fortwuchert. Diese glockenförmigen Gebilde der Zahnleiste bezeichnet man als Schmelzorgane der Zahnkeime (Tafel I, Fig. 3 *s*). Gleichzeitig aber zeigt sich eine gewisse Verdichtung des darunter liegenden embryonalen Bindegewebes.

Es entsteht hier durch eine rapide Zellvermehrung ein Zapfen Bindegewebes, welcher als Zahn(bein)papille (oder Zahnkeim Fig. 3 *z*) bezeichnet wird. Letztere, die spätere Zahnpulpa, legt sich eng in die glockenförmig werdende Schmelzpulpa. In der Umgebung des ganzen Gebildes verdichtet sich das Mesoderm ebenfalls und bildet damit den Anfang des sogenannten Zahnsäckchens oder Zahnfollikels. Das Zahnsäckchen ist gewöhnlich nach dem Zahnkeim hin scharf abgegrenzt, ebenso sind die äusseren Bindegewebsschichten desselben gegen das umliegende Gewebe (Binde- und Knochengewebe) stark verdichtet. Die ganze Zahnanlage wird von dem Zahnsäckchen fest umschlossen und dieser Zustand desselben bleibt bis kurz vor dem Durchbruche des Zahnes erhalten. Die allgemeine Lagerung der Milchzähne erfolgt in der Weise, dass die Zahnleiste in schräger Richtung nach innen in das Mesoderm wuchert, die glockenförmigen Schmelzorgane derselben sich sofort mehr vertikal stellen und in dieser Stellung auch bei der weiteren Ausbildung verharren (Fig. 4 *e*). An der Umbiegungsstelle der Zahnleiste zum neugebildeten Schmelzorgane der Milchzähne wuchert nun die Zahnleiste in der ursprünglichen schrägen Richtung nach innen weiter (Tafel I, Fig. 4 e^1). Es bilden sich alsdann auf der inneren Seite der Milchzähne die glockenförmigen Schmelzorgane der bleibenden Zähne genau so, wie es soeben bei den Milchzähnen beschrieben wurde. Die längere Zeit noch fortexistierende kurze Verbindung zwischen der Zahnleiste und dem Schmelzorgan der Milchzähne bezeichnete Waldeyer als Hals des Schmelzorganes, Röse als Verbindungsbrücke. Die fortwuchernde Zahnleiste e^1, welche zur Bildung des Ersatzzahnes führt, nennt man die Ersatzleiste.

Wir wollen nun die feineren Vorgänge, welche beim Aufbau

dieser einzelnen Organe statthaben, in ihren histologischen Einzelheiten besprechen. Die Zahnleiste wird, wie schon bemerkt, aus Cylinder- und Plattenepithel gebildet. Beide Epithelien haben deutlich ausgebildete Kerne I, welche beim Cylinderepithel nach aussen hin liegen (Tafel I, Fig. 5). So wie die Zahnleiste zum Aufbau des Schmelzorganes vorgeht, verändert sich an dem inneren Teile des glockenförmigen Gebildes (Schmelzkeimes) das Cylinderepithel in der Weise, dass die Epithelzellen sich um ein bedeutendes vergrössern. Nach v. Ebner werden dieselben bis 40 μ lang und 7 μ breit. Dieses Wachstum kommt im wesentlichen dem protoplasmatischen Zellleibe der inneren Epithelzellen zu. Die äussere Lage von Cylinderepithel, welche das glockenförmige Schmelzorgan umgibt, besteht aus einer einzelligen Lage von Epithelzellen, welche etwa bis zum vierten Monat Cylinderform hat, dann aber mehr Cubusform annimmt (Tafel I, Fig. 5*c*).

Zwischen diesen beiden einzelligen Cylinderepithellagen, welche übrigens an dem unteren Rande des Schmelzkeimes ineinander übergehen, füllt das Plattenepithel die Hauptmasse der Schmelzglocke aus. Jedoch wird dasselbe sofort bei Bildung des Schmelzorganes zu einem spezifischen Gewebe umgewandelt, indem die einzelnen Zellen sehr lange Fortsätze vortreiben, wodurch die Verbindung untereinander erhalten wird (Tafel I, Fig. 5*g*). In den Zwischenräumen bildet sich eine zähe Flüssigkeit. Man bezeichnet diese Zellen als sternförmige Zellen und ihre Gesammtheit als Schmelzpulpa (Tafel I, Fig. 4 u. 7*s*.). Die Anzahl der Fortsätze schwankt zwischen drei und sieben. Die Kerne derselben werden durch Farbstoffe, im Gegensatz zu den

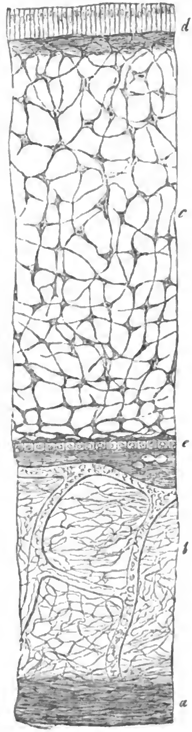


Fig. 6.
Durchschnitt des Schmelzorganes aus dem Zahnsäckchen eines Neugebornen. *a* äussere dichte Lage des Zahnsäckchens; *b* innere weiche, gefässhaltige Lage des Zahnsäckchens mit einem etwas dichteren Gewebe gegen das Schmelzorgan; *c* Gallertgewebe; *e* äusseres, *d* inneres Epithel des Schmelzorganes auf dem hinteren Teile der Pulpa, dem sogenannten Stratum intermedium aufsitzend. (Nach v. Ebner.)

Fortsätzen, stark imprägniert. An der inneren, besonders aber an der äusseren Epithelschicht des Schmelzorganes sind die sternförmigen Zellen der Pulpa stärker aufeinander gehäuft und bilden den Uebergang zu dem ursprünglichen Plattenepithel, indem die Fortsätze nur sehr kurz sind. Diese Schicht der Schmelzpulpa über dem innern Cylinderepithel heisst das Stratum intermedium und besteht aus etwa 2—5 Zelllagen (Fig. 6 *d*). Schon im sechsten Monat sehen wir, dass das äussere Epithel an einzelnen Stellen an der Spitze der Schneidezähne durchbrochen wird. Die stehen gebliebenen Reste desselben erscheinen als kugelförmige Gebilde (ähnlich wie die „Nester“ der zerfallenden Zahnleiste), zwischen denen stärkeres fibrilläres Bindegewebe und auch Gefässe durchzutreten beginnen. Es kommt dann sehr bald die Resorption der Schmelzpulpa zustande. Der wichtigste Bestandteil des Schmelzorganes ist somit das innere Epithel. Dieses Cylinderepithel ist die eigentliche Bildungsstätte des Zahnschmelzes, man nennt deshalb diese Epithelzellen Schmelzzellen (Ameloblasten). Sie liegen in einer Lage über der Zahnbeinpapille und berühren nahezu die Zellen, welche später sich im Zahnbeinkinn zu Odontoblasten formieren. Zwischen diesen beiden Zelllagen wird aber sehr bald Schmelz und Zahnbein in der Weise produziert, dass letzteres nach innen, der Schmelz nach aussen von der ursprünglichen Grenzlinie gebildet wird. Das Zahnbein wird in jedem Falle zuerst angelegt und für die Form des Zahnes erscheint mir, im Gegensatz zu neueren Autoren, welche die Zahnform nur von der noch zu besprechenden Epithelscheide abhängig machen, somit auch das Dentin massgebend (siehe Tafel I, Fig. 7). Dagegen ist die Form der Schmelzzellen weit eher ausgebildet als die der Odontoblasten. Am Umschlagsrande des Schmelzorganes finden wir zahlreiche Mitosen. Hier sind die inneren Epithelzellen desselben somit in lebhafter Teilung begriffen. Darauf erfolgt jedoch sehr bald die Verlängerung der Epithelzellen zu Ameloblasten, während zahnbeinbildende Zellen (Odontoblasten) kaum vorhanden sind. Die ersten verkalkten Partien des Zahnes nennt man das Zahnscherbchen. Die Formation des inneren Epithels zu wahren Ameloblasten (Fig. 7 *a*) und die Formation der Zellen der Zahnbeinpapille zu Odontoblasten erfolgt immer in der Richtung von der Spitze des Schmelzorganes, resp. der Zahnbeinpapille, nach dem Umschlagsrande. Nach der Wurzel hin finden wir immer die jüngste Bildung des betreffenden Zahngewebes und in mehrhöckerigen Kronen somit auch zunächst mehrere Zahnscherbchen, welche erst später ineinander fliessen.

Damit gehe ich zur Entwicklung der Zahnpapille über. Dieselbe besteht in der ersten Zeit aus embryonaler Grundsubstanz, in welcher zahlreiche Rundzellen eingelagert sind. Diese Zellen werden mit der Zeit spindelförmig und erhalten Fortsätze, welche miteinander in Verbindung treten. Im fünften Monat beginnt die Gefässbildung in derselben, gleichzeitig aber auch finden wir dann die ersten Entwicklungsstadien der harten Zahngewebe. Die peripher gelegenen Zellen der Papille bilden sich zu Odontoblasten aus, welche dann sofort die Produktion des Zahnbeins übernehmen. Zunächst haben dieselben Cylinderform, welche aber in späteren Stadien der Entwicklung mannigfachen Aenderungen unterworfen ist. Auf die Vorgänge des feineren Baues der Zahnbein-, resp. Schmelzbildner, werde ich bei der Entwicklung der Zahngewebe näher eingehen. Am Rande des glockenförmigen Schmelzorganes findet noch lange Zeit eine starke Zellenvermehrung des Cylinderepithels statt und zwar derart, dass die vorgebildete Zahnpapille immer nahezu ganz von der Epithelschicht umschlossen ist. Hertwig nannte deshalb den epithelialen Mantel Epithelialscheide. Hertwig sowohl wie Röse und v. Brunn haben nachgewiesen, dass regelrechtes Zahnbein nur an der Innenfläche eines solchen epithelialen Mantels wachsen kann. Hört der letztere auf zu wachsen, so entsteht auch kein Zahnbein mehr, sondern Knochengewebe. v. Brunn und Röse ziehen daraus den Schluss, dass die Hauptaufgabe des epithelialen Mantels der Zahnanlagen darin besteht, die Form für die künftige Gestalt des Zahnes zu bilden. Damit wäre die Zahnpapille zu einer rein passiven Rolle bevorteilt. Ich kann dieser letzteren Meinung nicht vollständig zustimmen, da die Bildung der Zahnpapille derjenigen der Epithelscheide immer voraus ist. Diese muss sich nach den Vorstellungen von v. Brunn und Röse in die Basis der Papille mit ihrem Umschlagsrande hinein arbeiten. Nun sehen wir aber gerade an dieser Stelle sehr bald eine starke Wucherung der Zellen, aus denen die Papille besteht, auftreten. Als sogenannter Pulpawulst bildet sie die Basis des ganzen Zahnkeims. Der Umbiegungsrand des inneren zum äusseren Epithel liegt nach meinen Beobachtungen immer in dem Gewebe der Zahnbeinpapille. Dieser wichtige Befund spricht meines Erachtens stark gegen die v. Brunn'sche Meinung der aktiven Rolle der Epithelscheide, wenigstens beim wurzeltragenden Zahn ist anzunehmen, dass nach Bildung der Schmelzpulpa die Zahnbeinpapille

nicht nur gegen und in dieselbe hinein wächst, sondern durch fortwährende Zellwucherung an ihrer Basis den Zahnkeim vorwärts drückt. Es sprechen dafür nicht allein das Verschwinden der Schmelzpulpa, sondern auch die Gewebsveränderungen der neugebildeten harten Zahngewebe an der Dentin- und Schmelzgrenze, welche wir in dem vorliegenden Werke noch näher kennen lernen werden. Der Umschlagsrand hat häufig auch eine solche unregelmässige Form, dass sie keinenfalls dem fertigen Zahne auch nur annähernd entspricht. Es treten sogar zuweilen grössere Faltungen der Epithelialscheide am Umschlagsrande auf, welche offenbar durch den unter und gegen ihn wuchernden Pulpawulst veranlasst sind. Endlich ist die sofortige Entwicklung des Alveolarfortsatzes bei der Kronenbildung Beweis für meine Ansicht. Es erscheint mir somit nicht ausgeschlossen, dass einerseits, wie es schon Zuckerkandl angenommen hat, das Kronenwachstum und die Lagerungsveränderungen der Zähne mindestens durch die gegenseitigen Wirkungen der Gewebe bei ihrer Bildung beeinflusst werden können. Andererseits sind hiermit auch die Bildung der schmelzlosen Körperchen und auch die Verschmelzungen von Zähnen in Verbindung zu bringen. Nach Bildung der Krone, während welcher die Epithelscheide ununterbrochen Schmelzzellen an dem Umschlagsrande neu bildete, hört nun eine Aktivität der Scheide jedenfalls auf. Wir sehen dann bei der Wurzelbildung sofort eine Zerreissung ihrer bisherigen Kontinuität auftreten. Bei dem nun beginnenden Wurzelwachstum und eng damit zusammenhängenden Durchbruch des Zahnes findet man nur inselförmige Abschnitte vom Epithel, welches aber durchaus den Charakter des Cylinderepithels verliert und zu kubischem wird. Diese Epithelnester lagern sich der wachsenden Wurzel an, sind aber für die Formbildung der Wurzel durchaus bedeutungslos, ebenso wie sie für die Schmelzbildung ihre Funktion eingebüsst haben. Nur in sehr seltenen Fällen bleiben die Cylinderepithelzellen auch im Bereiche der Wurzel funktionsfähig. Es kommt dann zur Bildung von sogenannten Schmelztropfen, indem nicht wie gewöhnlich nur Epithelnester von der Ausdehnung weniger Zellen, sondern grössere Bezirke der Epithelialscheide erhalten bleiben. Im übrigen verhält sich das degenerierte innere Epithel genau so wie das funktionslose äussere Epithel der Schmelzpulpa. Für die Wurzelform, das Wurzelwachstum und ganz besonders für den Zahndurchbruch mache ich aus diesen Gründen ganz besonders die Thätigkeit der Zahnbeinpapille, also

den Dentinkeim, verantwortlich, welcher im embryonalen Zustande aktiv bis zur Vollendung der Wurzelspitze als dicker Kuchen unterhalb der letzteren persistiert. Dieses Organ wird mit fortschreitender Vollendung der Wurzel immer kleiner und wird damit formbestimmend.

Dem gegenüber kann die beim Beginn der Wurzelbildung sofort elementar degenerierende, in einzelne Teile zerfallende, funktionslose Epithelialscheide wohl nicht ernstlich in Betracht kommen. In Bezug auf die Theorie des Mechanismus des Zahndurchbruchs nähere ich mich somit dem Standpunkte Kollmanns und Zuckerkandls. Auch Wallisch hat neuerdings nachgewiesen, dass die bereits in frühestem Stadium der Entwicklung vorhandene Abgrenzung des Zahnkeims am offenen Ende der Pulpa fortbestehen bleibt, bis sich die Wurzel an ihrer Spitze zum Foramen apicis verengt hat. Er fand, dass während der Entwicklung des Zahnbeinkeims das untere Ende dunkler gefärbt ist, und zeigte, dass dies durch starke Anhäufung dicht gedrängt stehender Zellen, welche alle indirekte Kernteilung aufweisen, hervorgerufen wird. Wallisch schliesst daraus ebenfalls, dass die Epithelscheide niemals die Zahnsäckchen durchdringt, wie v. Brunn annahm.

Als einen neuen, besonderen und wichtigsten Beweis für das Wachstum des durchbrechenden Zahnes durch die wuchernde Zahnbeinpapille sehe ich die Verdichtung der Knochen-Spongiosa in der Umgebung des Zahnkeims an. Zu einer grösseren Resorption, resp. zum Durchbruch dieser provisorischen Alveole, kommt es niemals. Letztere bildet sich bei beginnender Kronenbildung, persistiert während des ganzen Wachstums des Zahnes, dient als Widerlager für die wuchernde Papille und schliesst sich nach Vollendung genau den Wurzeln in Form von kompakter Substanz an. Wir haben dann die eigentliche Alveole vor uns. Nähere Angaben über diese Verdichtung der Spongiosa finden sich in meinen Abhandlungen über die Entwicklungsmechanik der Kiefer beim Menschen und den Anthropoiden.

Mit dem Wachstum der Zahnbeinpapille werden die Gefässe in derselben ausgebildet, sodass sich unter der Odontoblastenschicht ein starkes Capillarnetz, spitzbogig angeordnet, entwickelt. Gleichzeitig sind zahlreiche Nervenverzweigungen in der Zahnpapille zu konstatieren. Bei den menschlichen Zähnen sehen wir die Gefässbildung niemals auch nur zwischen die Odontoblasten, viel weniger darüber hinaus auftreten. Auch in Bezug auf die Nerven ist dieses

noch nicht mit Sicherheit festgestellt. In dem bildenden Schmelzorgane treten niemals Gefässe auf, welche zur Ernährung der Gewebe dienen. Erst in späteren Stadien, wenn die Schmelzbildung schon weit fortgeschritten ist, sehen wir Gefässe von aussen nach dem Schmelzorgan vordringen, ein Vorgang, welcher das Zeichen der beginnenden Resorption dieses Organes ist. Zunächst wird das äussere Epithel durchbrochen, die Schmelzpulpa folgt allmählich und das innere Epithel (die Ameloblasten) verödet dann infolge mangelhafter Ernährung. Damit hört dann die Schmelzbildung vollständig auf. Die Kronenbildung der Zähne ist aber soweit vollendet, dass der Durchbruch sich vollziehen kann. Die Wucherung des Pulpawulstes dauert noch lange fort. Wir sehen selbst bei durchgebrochenen Zähnen an den jüngeren Odontoblasten der Wurzel Anklänge der Embryonalzeit. Es ist noch zu bemerken, dass das grobfaserige Bindegewebe des schon erwähnten Zahnsäckchens den Zahnkeim während der Entwicklung immer fester umschliesst, bis der Durchbruch des Zahnes sich vorbereitet. Durch die Ausdehnung des gesammten Zahnkeims wird das umgebende Bindegewebe und die Spongiosa komprimiert. Das ist sowohl mikroskopisch als auch ganz besonders durch Röntgen-Aufnahmen jedesmal nachzuweisen.

An den bleibenden Zähnen sehen wir die hier kurz skizzierten Bildungsvorgänge genau so verlaufen, wie an den Milchzähnen. Ich gehe deshalb sofort zu dem fertigen Produkt der Schmelzzellen, dem Zahnschmelze, über.

Zweites Kapitel.

Der Schmelz.

A. Allgemeine Eigenschaften.

Der Zahnschmelz oder Email (Substantia adamantina oder vitrea der alten Schriftsteller) ist das wasserärmste und härteste aller Gewebe im tierischen Organismus. Seine Härte schwankt zwischen 6 und 7 der Mohs'schen Härteskala, ist also nahezu so hart wie Quarz. Die Ursache dieser Härte ist der hohe Gehalt an anorganischer Masse. Es sind nämlich nur circa 2—4% organischer Substanz vorhanden.

Eine Analyse von Berzelius ergab basisch phosphorsauren Kalk mit Fluorcalcium 88,5%, kohlensauren Kalk 8,0%, phosphorsaure Magnesia 1,5%, organische Substanz 2,8%. Der Gehalt an Fluorcalcium wurde bisher allgemein auf ca. 4% angegeben. Dagegen hat Wrampelmeyer nur 1,37% und Kühns sogar nur 0,29% gefunden.

Aehnliche Resultate wie Berzelius erhielt Bibra und auch neuere Autoren differieren, abgesehen vom Gehalt an Fluor, nur wenig in den obigen Angaben über die Zusammensetzung der anorganischen Bestandteile des menschlichen Schmelzes. Die organische Substanz wird allerdings sehr verschieden angegeben. Hoppe Seyler fand im jungen Schmelz bis zu 22% organische Bestandteile. Sicher ist, dass während der Schmelzbildung der Kalkgehalt des Schmelzes bedeutend zunimmt, sodass ausgebildeter Schmelz kaum mehr als 3% organische Masse enthält.

Das Email des Kulturmenschen ist nur selten in seinen histologischen Einzelheiten vollständig normal zu nennen. Selbst scheinbar ganz intakte Zähne zeigen bei den mikroskopischen Untersuchungen mangelhaft verkalkte oder im Bau der Strukturelemente anormale Teile, sodass das Gebiss des Europäers nur höchst selten ein vollständig normales Schmelzgewebe in allen seinen Teilen aufweist. Deshalb schwanken auch wohl die Analysen in

Bezug auf den Gehalt an organischer Substanz. Auf diese Vitia primae formationis muss, weil sie so unendlich häufig vorkommen, ja nahezu zur Regel geworden sind, bei der Beschreibung der Struktur des Schmelzes näher eingegangen werden. Die angegebenen Salze sind in krystallinischer Form abgelagert. Man sieht unter dem Mikroskop bei Zusatz von verdünnten Säuren das Loslösen von Krystallnadeln am Rande des Schliffes. Die Ablagerung der Kalksalze ist natürlich nur an die Funktion der Schmelzzellen gebunden. Wir werden den Vorgang noch näher bei der Entwicklung des Schmelzes betrachten. Sowie die Schmelzzellen veröden, hört naturgemäss jede weitere Konsolitation des Schmelzgewebes auf. Gut verkalktes Email hat eine bläuliche oder hellgelbliche Farbe und lässt durchfallendes Licht in ziemlichem Grade durch. Mangelhafte Kalkablagerung bedingt eine dunkle, bräunliche Färbung der betreffenden Schmelzpartie, eine weisse im auffallenden Lichte.

Bei geringen Vergrösserungen erkennt man nun, dass der Schmelz von einer ungeheueren Menge feiner Streifen durchsetzt ist, welche gleichmässig centripetal von der Oberfläche zum Zahnbein verlaufen (Tafel I, Fig. 8). Diese feinfaserige Struktur rührt von polyedrischen Säulen her, welche die Elementarteile des Schmelzes bilden. Man nennt sie deshalb Schmelzsäulen oder Schmelzprismen. Meistens sind dieselben auf guten Querschnitten fünf- bis sechseckig; nicht immer ist jedoch diese geometrische Figur scharf ausgesprochen. Scheinbar laufen die Wandungen der Schmelzprismen parallel. Da nun aber der Verlauf der letzteren radienförmig vom Dentin zur Oberfläche ist, haben einige Autoren, z. B. John Tomes, angenommen, dass im Schmelz supplementäre Säulen zwischengelagert seien. Dem ist jedoch nicht so. Es spricht dagegen, dass die Schmelzprismen an der Oberfläche breiter sind, und dass während der Entwicklung keine neuen Schmelzzellen gebildet werden. Die Schmelzprismen liegen in Bündeln zusammen. Diese verlaufen besonders in den komplizierter gebauten Backenzähnen in verschiedenen Kurven zur Oberfläche. Charles Tomes beschreibt den Verlauf der Schmelzprismen öfters in Form einer Spirale angeordnet. Knickungen und Biegungen derselben kommen in der That sehr häufig vor. Sie fügen sich nach meiner Meinung in die beabsichtigte Form des Zahnes unter Rücksicht auf den gegebenen Raum ein. Der Durchmesser der Schmelzsäulen beträgt nach Kölliker für den menschlichen Schmelz etwa 3—5 μ. Im tierischen Email kommen

jedoch noch viel bedeutendere Abweichungen vor. Beim Zertrümmern zeigen die Prismen nach v. Ebner zweierlei Bruchflächen, muschlige und ebene.

Die Einwirkung verdünnter Säuren auf die Schmelzprismen lässt die faserige Struktur des Schmelzes viel deutlicher hervortreten. Seit langer Zeit ist deshalb das Betupfen des Schmelzschliffes mit Säuren ein beliebtes Reagens der Zahnhistologie. Ein Querschliff parallel zur Oberfläche erscheint, wie John Tomes schon treffend bemerkte, alsdann wie eine Honigwabe, weil die Kalksalze der Prismen zum Teil gelöst werden. (Fig. 10.)

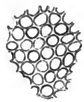


Fig. 10.
Schmelz. Mit Salzsäure behandelter Querschliff. Schematisch nach John Tomes.

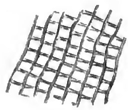


Fig. 11.
Schmelz. Mit Salzsäure behandelter Längsschliff. Schematisch nach John Tomes.

Aus dieser Thatsache haben viele Autoren geschlossen, dass zwischen den Elementarteilen des Schmelzes, also den Schmelzprismen eine Kittsubstanz vorhanden sei.

B. Feinerer Bau des Schmelzgewebes.

Die ersten Autoren, welche über die Struktur des Schmelzes berichteten, stellten ihn aus Fasern, den sogen. Schmelzfasern, bestehend dar. Die Verbesserung unserer optischen Hilfsmittel liess es zu, dass die Schmelzelemente dann als sechseckige Säulen beschrieben wurden, und diese Meinung hat sich im allgemeinen bis auf den heutigen Tag erhalten. Die Säulen sind nach der Meinung der meisten Autoren durch eine dunkle Kittsubstanz verbunden.

Der litterarische Streit über ein etwaiges Vorkommen von Kittsubstanz zwischen den Elementarteilen des Schmelzes währt schon seit sehr langer Zeit; und man kann mit Recht behaupten, dass der sichere Nachweis derselben von grundlegender Bedeutung für die Erklärung der Schmelzstruktur überhaupt ist. Während Hannover, Waldeyer, Hertz und andere schon vor Jahrzehnten die Kittsubstanz durchaus leugneten, englische Forscher, z. B. John und Charles Tomes, in ihren ausführlichen Arbeiten über die normale Histologie der Zähne sie sogar überhaupt nicht erwähnen, so neigen sich viele neuere Autoren der entgegengesetzten Meinung zu. Eine Kittsubstanz zwischen den Schmelz-

prismen beschrieb schon F r e y. Speziell die ausgezeichnete Monographie von v. E b n e r: „Strittige Fragen über den Bau des Zahnschmelzes“ brachte eine Menge von diesbezüglichen histologischen Einzelheiten, welche die Annahme einer Kittsubstanz zwischen den Schmelzprismen durchaus gerechtfertigt erscheinen liessen. Auch die viel umstrittenen, im Säugetierzahne häufig vorkommenden und noch zu besprechenden Streifen- oder Linienbildungen, welche nach ihrem Entdecker Linien des R e t z i u s heissen, liessen sich durch die Eintrocknung einer Kittsubstanz zwischen den Schmelzprismen leicht erklären. Die letztgenannte Arbeit schien somit einen gewissen Abschluss in die Untersuchungen über die Kittsubstanz und zwar zu Gunsten ihres Vorkommens gebracht zu haben. Dennoch glaubte ich gegen dieselbe eine grössere Anzahl von gewichtigen Gegengründen vorbringen zu müssen, deren Erörterung ich in der deutschen Monatsschrift für Zahnheilkunde 1898 gab.

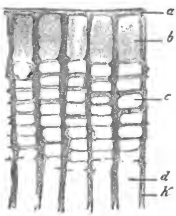


Fig. 12 a.
Mit Salzsäure entkalkter Längsschnitt vom Schmelze des bleibenden Eckzahnes eines vierjährigen Kindes. (Vergr. 800.) *a* Schmelzoberhäutchen: *b* organischer Rest der Prismen in der Oberflächenschicht; *c* organischer Rest in Form kieferartiger Querwände; *d* vollständig gelöste Prismen; *k* Kittsubstanz zwischen den Prismen. (N a c h v. E b n e r.)

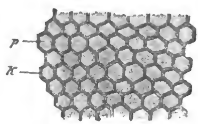


Fig. 12 b.
Querschnitte der Schmelzprismen von einem mit Salzsäure schwach geätzten Querschliffe eines Mahlzahnes. (Vergröss. 500.) *p* Prisma. *k* Kittsubstanz. (N a c h v. E b n e r.)

Ich gebe obenstehend die Bilder v. E b n e r s, welche die dunkle Kittsubstanz illustrieren, auf einem Längs- und einem Querschnitt wieder. Die Schmelzprismen, welche den fertigen Schmelz des Säugetierzahnes zusammensetzen, erscheinen meistens und zwar oft schon bei geringeren Vergrösserungen, scharf konturiert: ins-

besondere ist dieses bei Längsschliffen der Fall. Bei stärkeren Vergrösserungen (3—500 Mal) sieht man, dass die Prismen nicht durch einfache Linien voneinander getrennt sind, sondern „dass ein messbar dicker, doppelt konturierter Streifen einer das Licht schwächer als die Prismen brechenden Substanz gelegen ist" (v. Ebner). In Beobachtungen von Längsschliffen der Schmelzprismen liegt nach meiner Meinung die Hauptursache der Fehlerquelle; Längsschliffe von Schmelzprismen, auch wenn sie noch so gut gelungen sind, geben niemals auf grössere Strecken hin die Konturen der Prismen in einer Ebene. Es handelt sich aber hier darum, die Begrenzung eines körperlichen Gebildes von polygonalem Querschnitt festzustellen, und da die Grenzlinien desselben also schon von vornherein nicht in einer Ebene liegen, so decken oder kreuzen sich dieselben vielfach, indem die Grenzflächen der Säulen optisch gegeneinander verschoben erscheinen. Um gewisse schwierige Fragen der Struktur zu lösen, müssen wir zunächst auf die optischen Erscheinungen bei der Beobachtung von Schmelzprismen eingehen.

Querschliffe der Schmelzprismen eignen sich weit besser zur Beobachtung sowohl ihrer Struktur, als auch zur Beurteilung einer etwa vorhandenen Kittsubstanz als Längsschliffe. Jedoch auch hier muss man sich oft noch solche Prismen aussuchen, welche wirklich zum Verlaufe in senkrechter Richtung durchschnitten sind, denn jeder geringste Schiefschnitt kann wiederum zu Irrtümern Veranlassung geben. Endlich müssen die Schliffe von der grössten Feinheit hergestellt werden. Es stellte sich nun heraus, dass solche Prismen selbst bei einer 2400 fachen Vergrösserung keine Kittsubstanz zwischen sich zeigen. (Siehe Tafel II, Fig. 13 und Fig. 14 Prismen im Verlauf des Hinweisungsstriches 5 *s*.) Am geeignetsten fand ich zur Beobachtung die Schmelzprismen der Primaten, Carnivoren und Ungulaten. Bei diesen Tieren haben wir die regelmässigsten Formen der Strukturelemente des Schmelzes. Eine Reihe von mikrophotographischen Aufnahmen, welche ich bei 1/200 mm Focusdifferenz mit dem Apochromaten 3 mm Oelimmersion num. Apertur 1,40 unter Benutzung möglichst kurzwelligen Lichtes machte, ergab, dass die Schmelzprismen selbst aus zwei optisch deutlich von einander unterschiedenen Teilen bestehen. Der centrale Teil, welcher den eigentlichen Körper des Prismas bildet, ist kornlos, höchstens um den Mittelpunkt ein wenig gefleckt, aber dunkler gefärbt als die weisslich erscheinende periphere Schicht. Eine zarte etwas dunklere Linie bildet

die Grenze zwischen den beiden Lagen, die äussere Grenzlinie des Gesammtprismas erscheint zwar bedeutend schwärzer, ist jedoch scharf geschnitten und auch bei den angewandten hohen Vergrösserungen nicht körperlich. Derartige Bilder kommen jedoch nur zustande, wenn die Einstellung höchst genau und wo möglich auf die Oberfläche des Prismas geschah. In der Umgebung derselben sieht man bei dem geringsten Schiefschnitt sofort Lichtbrechungen und Diffraktionsräume, besonders wenn schiefe Beleuchtung gewählt wurde. Bei unscharfer Beleuchtung ändert sich das Bild total. Zwischen den Prismen zeigt sich dann eine dunkel erscheinende Linie, die mit Vergrösserung der Unschärfe in ihrer Breitenausdehnung wächst. (Siehe Tafel II, Fig. 14 bei *u* und oberer linker Teil des Bildes.) Was vorher hell war, wird nun dunkel, und ein solches Bild täuscht die Kittsubstanz zwischen den Schmelzprismen nur zu gut vor. Die Ursache der Täuschung lag in der Nichtbeachtung der Lichtbrechungserscheinungen, indem man nicht auf die Brechung der Randstrahlen, welche von den beleuchteten Schmelzprismen ausgehen, Rücksicht nahm.

Ergibt somit schon die direkte Beobachtung, dass keine Kittsubstanz zwischen den Schmelzprismen vorhanden ist, so erscheint es — bei der Wichtigkeit der Sache — mir doch nötig, auf die entstehenden Trugbilder noch näher einzugehen. Denn es ist ja auffallend, dass Längsschliffe von Schmelzprismen scheinbar eine wirkliche Kittsubstanz in Form eines dunkleren körperlich erscheinenden Streifens zwischen den Säulen häufig aufweisen. Vor allen Dingen muss davor gewarnt werden, zur Beobachtung durch Säuren schwach geätzte Schliffe zu nehmen, wie es bisher häufig geschah. Dadurch wird das optische Verhalten total geändert, worauf noch bei der Querstreifung der Schmelzprismen zurückzukommen sein wird. — Auch ungeätzte Längsschliffe können insofern oft nichts beweisen, weil die Tiefenzeichnung selbst der stärksten Objektive doch noch immer so bedeutend ist, dass der Beobachter nicht allein die unmittelbare Grenzlinie zwischen den Prismen, sondern auch gleichzeitig noch mindestens zwei seitliche, schräg zur eigentlichen Grenzlinie einfallende Seiten der polygonalen Schmelzsäulen sieht. Bei den Objektiven mit geringerer numerischer Apertur, als etwa 1,0, wie sie bisher wohl meist für die Untersuchung des Schmelzes angewandt wurden, entsteht durch die proportional zunehmende Tiefenzeichnung eine breitere Grenzschicht, welche durch den verschiedenen Brechungsindex der Grundbestandteile und die Konvergenz der Prismenseiten eine

dunkle Kittsubstanz zwischen den Säulen vortäuscht. Uebrigens zeigen sich öfters deutlich drei Kontourlinien zwischen zwei nebeneinander liegenden Schmelzprismen, konform meinen Beobachtungen an Querschliffen. Die peripheren hell erscheinenden Schichten sind durch zarte Grenzlinien getrennt.

Aber auch bei exakten Querschliffen ist eine Vortäuschung von Kittsubstanz möglich. Die Lagerung der Schmelzprismen ist im allgemeinen nicht so regelrecht, als dass von einer geometrischen Anordnung der Grenzlinien gesprochen werden könnte. Es war nun wünschenswert, ähnliche Bilder, wie der soeben beschriebene Bau der Schmelzprismen aufweist, an natürlichen Objekten, aber womöglich noch in regelmässigerer Anordnung aufzufinden und insbesondere auf das optische Verhalten ihrer Elementarteile bei verschiedener Einstellung des Mikroskops zu prüfen. Ich stiess nun auf die Diatomaceengattung Triceratium, welche in höchster Regelmässigkeit dieselbe Anordnung der Strukturelemente wie ein Querschliff von Schmelzprismen zeigt. Diese Diatomee hat überdies noch den Vorteil, dass sie von den Rändern nach der Mitte zu gewölbt ist, so dass zwar immer nur eine kleine Partie der sechseckigen Säulen in Form eines konzentrischen Kreises um den Mittelpunkt der Diatomee herum durchaus scharf erscheint, andererseits aber auch gleichzeitig jede andere unscharfe Einstellung der Sechsecke im Bilde vorhanden ist. Für ein Mikrophotogramm erfolgt die scharfe Einstellung am besten auf der Mitte der Diatomee zwischen Rand und Centrum. Nur einzelne genau im Focus liegende Säulen weisen dann die grosse dunkle centrale und die schmale helle periphere Schicht auf; letztere ist allerdings breiter wie bei Schmelzprismen; dieser Umstand trägt aber nur zur Deutlichkeit des Bildes in Bezug auf das optische Verhalten bei den verschiedenen Einstellungen bei. Jede Säule ist durch eine scharfe einfache Grenzlinie von der anderen getrennt. (Siehe Tafel II, Fig. 15 oberhalb *s*.) Bei unscharfer Einstellung der Strukturelemente ändert sich nun das Bild ganz bedeutend. Im Centrum der Diatomee erscheinen die hellen peripheren Schichten zu einem höchst zierlichen Netzwerk angeordnet. Durch Verkleinerung des Focalabstandes scheinen die Grenzlinien der Säulen — in Wahrheit die Grenzflächen — sich zu kreuzen. Am Rande der Diatomee aber tritt die eigentümliche Erscheinung auf, dass die hellen peripheren Schichten der sechsseitigen Säulen allmählich breiter, aber auch dunkler werden, so dass hier eine Vortäuschung von Kittsubstanz zwischen sechseckigen Säulen in

schönster Weise stattfindet. (Fig. 15 bei *u.*) Diese totale Verschiedenheit des Bildes geometrisch gebauter sechseckiger Formelemente beruht also nur auf der wechselnden Einstellung; die Betrachtung der verschiedenen Bilder lässt leicht erkennen, dass die Schmelzprismen in ihrer verhältnissmässig unregelmässigen Lagerung, Form und Gestaltung nur zu leicht zur Annahme einer dazwischen liegenden dunkel erscheinenden Kittsubstanz führen können.

Ganz ähnliche Strukturverhältnisse wie bei einer solchen Diatomee haben wir im Zahnschmelze. Jeder Autor, der Verteidiger einer Kittsubstanz zwischen den Schmelzprismen ist, hat bisher die vermeintliche Kittsubstanz dunkel gezeichnet und beschrieben. Wenn man exakte Oberflächen-Beobachtungen an guten Dünnschliffen gemacht hätte, würde dieser Fehler, welcher rein auf optischer Täuschung beruht, nicht von so vielen Autoren wiederholt sein. Wir sind deshalb gezwungen, die ganze feinere Histologie des Schmelzes von wesentlich anderen Gesichtspunkten aufzufassen, als wie es bisher geschehen ist.

Einen Hauptwert legen die Verteidiger der Kittsubstanz auf das Verhalten des Schmelzes bei der Einwirkung von Säuren. Dadurch werden die bestehenden Verhältnisse ganz und gar geändert. Durch Säuren wird neben dem später zu besprechenden Auftreten von Querstreifen eine schärfere Begrenzung der Schmelzprismen hervorgerufen, und die vermeintliche Kittsubstanz, in Wahrheit die Cortikalschicht der Schmelzprismen, erscheint namentlich nach dem Trocknen eines mit Säure vorbehandelten Schliffes bedeutend dunkler. Auf Grund der Bilder von Querschliffen ungeätzter Schmelzprismen glaube ich nun annehmen zu müssen, dass die periphere Schicht von vornherein zwar viel weniger Kalksalze, dafür aber um so mehr organische, dichter gefügte Substanz als der Körper des Prismas enthält. Die periphere Schicht der Prismen ist hell, dabei ausserdem von grösster Gleichförmigkeit, während der Centralkörper meist ein wolkiges oder fleckiges, teilweise dunkleres Aussehen hat. Nur das Centrum des Prismas ist oft wieder annähernd so hell wie die periphere Schicht. Ich meine, Bilder wie Fig. 13 u. 14 auf Tafel II vergleichend betrachtet, müssen den grössten Verteidiger einer dunklen Kittsubstanz bekehren. Die wahre Struktur kann man nach meiner Meinung nur an ungeätzten Prismen kennen lernen. Bei einer kurz dauernden Einwirkung von Säuren werden der Cortikalschicht zunächst die geringen

Mengen von Kalksalzen entzogen und es bleibt nur die organische Substanz übrig, während der Körper des Prismas noch mit Kalksalzen angefüllt ist. Im trockenen Zustande erscheinen geätzte Prismen stark dunkel contouriert. Die Randstrahlen werden dann in den verschiedenen Medien weit stärker gebrochen. Aber auch bei feucht gehaltenen Präparaten wird durch den Verlust der Kalksalze, welchen die Cortikalschicht erleidet, eine grössere optische Differenzierung erzeugt. Eine stärkere Einwirkung der Säuren entzieht nun auch dem centralen Teile der Prismen die Kalksalze, und da derselbe nur wenig organische Substanz enthält, zerfällt derselbe früher als die periphere Schicht. Es bleibt dann von einem Querschliff nur das von John Tomes schon abgebildete und Seite 10 wiedergegebene Netzwerk organischer Substanz übrig, welches nicht etwa aus einer Kittsubstanz besteht, sondern die noch zusammenhängenden Cortikalschichten repräsentiert.

Bödecker hat in seiner Anatomie und Pathologie der Zähne den feineren Bau des Schmelzes in anderer Weise beschrieben als die weitaus meisten Autoren vor ihm. Seine Angaben haben starken Widerspruch gefunden. Er sieht die Schmelzprismen als Säulchen einer verkalkten Substanz an, zwischen welchen enge Räume übrig bleiben, ähnlich denjenigen der Kittsubstanz zwischen epithelialen Bildungen. Bödecker meint, dass in Längsschnitten ungemein zarte, rosenkranzförmige Fasern sichtbar seien, welche den centralen Abschnitt der Zwischenräume zwischen den Schmelzsäulen einnähmen und bezeichnet diese Fasern als „Schmelzfasern". Von diesen Hauptfasern sollen wiederum überaus feine konische Fibrillen rechtwinkelig abgehen und in die seitlichen Prismen sich erstrecken. Die Hauptfasern sollen mit den Dentinfasern zusammenhängen und eine Ernährung des Schmelzes auf diese Weise ermöglichen. Bödecker bildet die Kittsubstanz im Gegensatz zu den meisten Autoren hell erscheinend ab. Seine Deutung derselben hat jedoch kaum Anspruch auf Giltigkeit. Die Schmelzfasern sind einfach die Grenzlinien zwischen den Cortikalschichten zweier Prismen, wie man gelegentlich auch bei ungefärbten Präparaten jenes oben schon erwähnte Drei-Linien-System deutlich sieht. Die Färbung mit Goldchlorid in $1^0/_0$iger Lösung ist für die Strukturverhältnisse des Schmelzes ein gefährliches Experiment. Eine Spur von Säure kann schon die Grenzschicht verändern. Die organische Substanz wird dann auch leichter einer Färbung an den Berührungsflächen zugänglich sein, und auf diese Weise erklären sich, wie ich glaube,

die Trugbilder Bödeckers. Noch viel mehr wird das der Fall sein, wenn man, wie Wild und Abbot vorher 6%igen Eisessig für 12—18 Stunden anwendet. Dadurch wird in der That das schon von John Tomes künstlich isolierte organische Netzwerk hergestellt, allerdings auf etwas schonendere Weise. Die Strukturbilder von dem leiterförmigen Bau sind dann zwar zierlicher, beweisend sind sie für den Aufbau der Schmelzprismen jedoch keineswegs. Dieser lässt sich nur an möglichst unversehrten Präparaten eruieren. Ein solches künstlich hergestelltes organisches Netzwerk lässt sich zwar selbstverständlich färben, aber es lässt sich nicht recht die giltige Schlussfolgerung daraus ziehen, „dass nicht der geringste Zweifel darüber bestehen kann, dass die Schmelzfasern in mit Goldchlorid behandelten Präparaten deutliche Bildungen sind, in ununterbrochener Verbindung mit dem Netze der lebenden Materie, welches den ganzen Schmelz durchzieht“.

Auch die Entwicklungsgeschichte spricht durchaus gegen eine Kittsubstanz. Die Schmelzzellen liegen ohne nachweisbare Zwischensubstanz hart aneinander, auch isoliert zeigen sie zu keiner Zeit eine Spur von Kittsubstanz. Nach meinen Beobachtungen wird die periphere Schicht der Prismen zunächst und zwar sehr schnell angelegt. Man erkennt zunächst keine polygonale, sondern eine mehr runde oder ovale Begrenzung derselben. Kalksalze sind in der Cortikalschicht nur wenig eingelagert; das beweist ein starkes Färbungsvermögen der letzteren in diesem Stadium der Entwicklung. Ganz allmählich verkalkt nun der Centralkörper der Prismen und zwar wiederum von aussen nach innen. In der äusseren Schicht bleibt jedoch ein weit grösserer Gehalt an organischer Substanz als der Centralkörper der Prismen je aufweist, und dieses Verhältnis ändert sich nicht wesentlich während der Fertigstellung der Schmelzprismen durch Einlagerung der Kalksalze. Dann erst tritt die nunmehr sechseckig erscheinende Form beider Schichten hervor. Die Dicke der Cortikalschicht geht dabei entschieden zurück. Die spätere Formierung zu sechsseitigen Säulen würde sich auch jedenfalls weit schwerer ermöglichen lassen, wenn der äussere Teil derselben von vornherein stark verkalkt sein würde, ebenso würde eine vorgebildete Kittsubstanz der Prismen dieser späteren Formierung nur hinderlich sein. Wir werden auf diesen Punkt noch näher bei der Entwicklung des Schmelzes eingehen müssen.

Die Stärke der peripheren Schicht der Schmelzprismen ist bei den verschiedenen Tierklassen sehr wechselnd, bei den Säugetieren ist sie am meisten entwickelt, obgleich auch hier grosse

Unterschiede wahrzunehmen sind. Da zum Studium des Schmelzes sehr häufig menschliche Zähne verwendet wurden, so lässt sich die Annahme einer Kittsubstanz sehr wohl erklären, weil gerade der menschliche Schmelz so viele vitia primae formationis darbietet, dass derselbe zwar äusserlich normal erscheinend, sich oft schon pathologischen Zuständen nähert. Vor allen Dingen sind es die später noch zu besprechenden Streifen des Retzius, welche fast in jedem menschlichen Zahne vorkommen. Dieselben sind der Ausdruck einer zeitweiligen Sistierung der Verkalkung des Schmelzes, welche nicht nur den centralen, sondern auch den peripheren Teil der Schmelzprismen betreffen können. Die Cortikalschicht besteht dann nur aus organischer Grundsubstanz, welche beim Eintrocknen oft sogar Lufteintritt in die Prismen ermöglicht und dadurch ausser der vermehrten Randstrahlenbrechung zu der bekannten Braunfärbung solcher Streifen Veranlassung gibt. Derartige Streifen kommen jedoch auch bei anderen Säugetieren, insbesondere bei den Huftieren, vielfach vor. Ein Mittelding findet sich häufig in Gestalt solcher Prismen, welche als Zeichen mangelhafter Verkalkung in ihrer Cortikalschicht körnige Ablagerung der Kalksalze zeigen, während der centrale Teil normal gebildet ist. Solche Schmelzprismen zeigen bei genauer Einstellung des Längsschliffs überhaupt keine Begrenzungslinien, so dass das Schmelzgewebe im Längsschliff nur als gleichmässig feingekörnte Masse erscheint. Die Körnung betrifft hauptsächlich die Oberflächen der Prismen, also die Cortikalschichten, deren Uebergänge in die normalen Prismen häufig ein perlschnurartiges Aussehen darbieten. Ich verweise diesbezüglich auf die Fig. 35 und 36 meines mikrophotographischen Atlasses der pathologischen Histologie menschlicher Zähne. Es kommen diese Bildungsanomalien übrigens nicht nur beim Menschen vor, auch Schmelzschliffe von Affen weisen dieselben, wenn auch in viel geringerer Zahl, auf. Es ist hier nicht der Ort, auf ein derartiges Vorkommen von nahezu pathologischen Zuständen näher einzugehen; es sollte die Anführung jener Thatsache nur als wichtiger Beweis dienen, dass die Begrenzung der Schmelzprismen nicht von einer dazwischen eingelagerten Kittsubstanz selbst in Zähnen, welche im übrigen die schärfsten und breitesten Grenzlinien aufweisen, abhängig ist. Ich glaube, dass beim Vorhandensein einer Kittsubstanz niemals das Bild eines in grösserer Ausdehnung gleichmässig gekörnten, im übrigen strukturlosen Schmelzgewebes zu stande kommen könnte.

Die mehr oder minder scharfe Begrenzung der Schmelzprismen gegeneinander ist teilweise schon von früheren Autoren, insbesondere von John Tomes, Hannover, und neuerdings von Preiswerck erwähnt und teilweise auch bei einzelnen Tieren abgebildet worden. Die Untersuchungen dieser Forscher waren allerdings meistens nur auf die Lagerung und weniger auf die feinere Struktur der Prismen gerichtet. Zahlreiche Schliffe vom Zahnschmelze nahezu aller Ordnungen der Säugetiere zeigten mir nun, dass die Stärke der Abgrenzungslinien der Schmelzprismen nicht allein in den einzelnen Ordnungen, sondern selbst in den Gruppen, ja in den einzelnen Familien in hohem Grade variiert. Innerhalb einer Ordnung finden sich alle Zwischenstufen vom scharfgeschnittenen Prisma bis zum undeutlichsten, ein homogenes Aussehen des Schmelzes bedingenden. Dies trifft insbesondere bei den Ungulaten und den Rodentien zu. Bei den Primaten, Carnivoren, Cetaceen sind die Schmelzprismen nahezu ausnahmslos scharf contouriert, bei den Beuteltieren dagegen ohne Aetzung oft kaum zu erkennen. Aber selbst in einem Zahne, welcher z. B. von einer Species der Ungulaten oder der Rodentien stammt, kann man häufig an Längsschliffen alle Zwischenstufen auffinden. Eine interessante Struktur des Schmelzes bietet diejenige des Eichhörnchens. Auf Längsschliffen sieht man bei geringen Vergrösserungen scharf contourierte Schmelzprismen, bei höheren verschwinden dieselben bis auf eine sehr feine, doch bestimmt ausgeprägte Grenzlinie. Im Querschliff sehen dagegen die Schmelzprismen sternförmig aus. Der dunkle centrale Körper des Prismas sendet durch die periphere Schicht feine Fortsätze, welche mit denjenigen der nächstliegenden Säulen scheinbar in Verbindung treten. Diese Fortsätze sind von höchst regelmässiger Form und heben sich scharf von der ganz hell erscheinenden Cortikalschicht ab, welche ziemlich stark entwickelt ist. Dieser Befund zeigt, da er auch an trockenen Schliffen gemacht werden kann, deutlich, dass die Cortikalschicht der Schmelzprismen keine Kittsubstanz sein kann. Ihr Brechungsindex ist ein höherer als derjenige des Centralkörpers, eine Schrumpfung derselben und damit ein Lufteintritt in das Gewebe findet nicht statt. Die Vergleichung von Längs- und Querschliffen vom Schmelz des Eichhörnchens zeigt zugleich, von welchem bedeutenden Einfluss das verschiedene Lichtbrechungsvermögen der Elementarteile der Schmelzprismen auf die Erzeugung des mikroskopischen Bildes ist. Die feinen Grenzlinien zwischen den Prismen im Längsschliff, welche seitlich je ein schmales helles Band zeigen, können

meines Erachtens nach dem Befunde im Querschliff nur als Kunstprodukte angesehen werden. Im letzteren ist zwischen den Prismen keine Grenzlinie zu erkennen; der Bau des Schmelzes beim Eichhörnchen zeigt — soviel mir bekannt, als einziger Fall der Säugetierklasse — eine totale Verschmelzung der Cortikalschichten unter gleichzeitiger Umformung der Centralkörper der Prismen zu gezähnelten Gebilden.

Das optische Verhalten der Schmelzsäulen einiger Reptilien, insbesondere aber derjenigen der Fische, ist bei schwächeren Vergrösserungen ein ganz anderes, wie im Schmelz der Säugetiere, so dass frühere Forscher, z. B. Kölliker (Mikroskopische Anatomie, 1854, S. 114), zu der Meinung veranlasst wurden, dass bei Fischen Schmelz überhaupt nicht existiere. Die Beobachtung lehrt nun, dass bei sehr vielen Fischen wirkliches Schmelzgewebe vorhanden ist. Dieser Schmelz unterscheidet sich aber von denjenigen der Säugetiere, dass die Schmelzprismen nur sehr schwach angedeutet sind. Die deutlichste Contourierung findet man noch bei den Zähnen der Selachier. In den weitaus meisten Fällen erscheint der Schmelz der Fische als ein nahezu homogenes Gewebe, welches nur von den später zu besprechenden sogenannten Schmelzkanälen durchzogen wird. Bei hohen Vergrösserungen kann man jedoch häufiger schwache Contouren der Schmelzprismen deutlich erkennen. Das mikroskopische Bild des Fischschmelzes schliesst jedoch in jedem Falle eine Kittsubstanz zwischen den Prismen aus, und auch dieser Punkt erscheint mir als wichtiger Beweis gegen die Annahme einer solchen im Schmelz der Säugetiere.

Die Frage, ob die Haifischzähne Schmelz besitzen, ist neuerdings (anatomischer Anzeiger 1897) von Röse im verneinenden Sinn beantwortet worden, während O. Hertwig schon früher denselben nachwies. Nach Röse haben die Haifischzähne keinen Schmelz, sondern nur ein Schmelzoberhäutchen. Röse glaubt, dass die Haifischzähne infolge der Bedeckung des Schmelzoberhäutchens ihren schmelzähnlichen Glanz haben. Die darunter liegende Zahnbeinschicht, welche O. Hertwig als Schmelz angesehen hat, habe folgende Eigenschaften: „Die ausserordentlich dünnen Zahnbeinkanälchen verlaufen hier nahezu alle parallel. Unverkalkte Neumannsche Scheiden lassen sich kaum mehr nachweisen, ihre seitlichen Verbindungsäste fehlen gänzlich. Auch die umgebende Substanz ist auf Kosten der organischen Kalksalze ausserordentlich verringert und die Masse der Fibrillen so gering, dass das entkalkte Gewebe sich mit Bleu de Lyon nicht mehr

blau färbt." Dieser Ansicht Röses habe ich gleichzeitig mit Charles Tomes widersprochen. Gegen die Rösesche Ansicht spricht der parallele Verlauf der Begrenzungslinien der Schmelzprismen, welche Röse für Zahnbeinkanäle hält. Der Zerfall dieses Gewebes gleicht ganz der Säureeinwirkung auf gewöhnlichem Schmelz, wie bei dem Fischschmelz O. Hertwig schon früher nachgewiesen hat. Vor allen Dingen entspricht aber die Annahme Röses, dass die Schmelzkanälchen der Beuteltiere, Krokodile, Nager u. s. w., welche oft durch die ganze Dicke des Schmelzes hindurch laufen und nach diesem Autor lediglich Längsspalten in der Kittsubstanz zwischen den Schmelzprismen seien, nicht den Thatsachen. Ich werde das näher bei der Beschreibung der Dentin-Schmelzgrenze erörtern. Ich möchte hier nur auf Tafel V Fig. 80 verweisen, welche die ununterbrochene Fortsetzung der echten Zahnbeinkanälchen in deutlichster Weise illustriert. Man sieht hieran wieder, dass die Autoren sich immer an die allgemein angenommene dunkle Kittsubstanz zwischen den Schmelzprismen klammern.

Ausserdem führt Röse gegen die Annahme von Schmelz [illegible] noch an, dass die Aussenschicht sich nicht mit scharfer [illegible] von dem darunterliegenden Zahnbeine abgrenze. Wir werden [illegible] sehen, dass selbst bei Beuteltieren diese Grenzlinie schon zu einer schwachen, oft kaum sichtbaren herabsinken kann. Umgekehrt [illegible] auch bei Haifischzähnen die Grenzlinie deutlich vorhanden [illegible].

[illegible] meint Röse, dass die Doppelbrechung des Schmelzes [illegible] gegen die Existenz des Schmelzes bei Haifischzähnen [illegible] selbst zugibt, dass das Verhalten hauptsächlich [illegible]. Da das Zahnbein auch [illegible] der äusserst geringen [illegible] nicht entscheidend sein. [illegible] Gange sind. [illegible] Haifischzähnen als [illegible]

[illegible] sich in Bezug [illegible] der Säugetiere. [illegible] die periphere [illegible] Bezug auf die [illegible] nicht etwa [illegible] zwischen den [illegible]

Die mehr oder minder scharfe Contourierung der Schmelzprismen in den Zähnen der Wirbeltiere ist also durchaus abhängig von der eventuellen Ausbildung einer Cortikalschicht. Das optische Verhalten der letzteren richtet sich nach ihrer Stärke und somit nach der mehr oder minder starken Differenzierung von dem Centralkörper der Schmelzsäulen, welche von den aufgespeicherten Kalksalzen in den beiden Schichten herrührt.

Vergleichend anatomisch betrachtet scheint sich zu ergeben, dass die Anordnung der Schmelzprismen zu einem Centralkörper und einer Cortikalschicht insbesondere den Zähnen zukommt, welche für das betreffende Tier einerseits zeitlich sehr lange funktionsfähig sein, anderseits gewaltige Kraftleistungen hervorbringen müssen. Nach meiner Auffassung ist durch diese Formation der Elementarteile die grösstmöglichste Sicherheit gegen mechanische Verletzungen des Schmelzgewebes gegeben. Die Cortikalschicht wirkt infolge ihres Gehaltes an organischer Substanz bei der Kraftleistung für den starren Centralkörper jedes einzelnen Prismas gleichsam als Polster und sichert damit dem Schmelzgewebe eine gewisse Elastizität. Bei immer wachsenden Zähnen tritt die beschriebene Architektonik der Schmelzsäulen mehr in den Hintergrund, bei häufig wechselnden Zähnen verschwindet sie meistens ganz.

C. Querstreifung der Schmelzprismen.

Im engen Anschluss an die Frage einer Kittsubstanz zwischen den Schmelzprismen steht diejenige der Querstreifung der letzteren. Während Hannover, Hertz, Baume und andere eine schichtenweise Ablagerung der Kalksalze innerhalb der Schmelzprismen annahmen, leugneten Kölliker und Waldeyer einen derartigen Vorgang. v. Ebner unterzog das Schmelzgewebe daraufhin einer eingehenden Untersuchung und wies nach, dass die Querstreifung nur durch Einwirkung von Säuren auf die Schmelzprismen entstände. Jedoch bemerkt dieser Autor dabei, dass gewisse Erscheinungen bei der Auflösung von nicht völlig reifem Schmelz darauf hindeuten, dass die durch Aetzung entstehende Querstreifung teilweise auf einer schichtenweisen Verschiedenheit der Schmelzsubstanz beruhen könne. Sie erinnere an die Aetzstreifungen, welche an manchen Krystallen auftreten. Schon Hertz führt an, dass die Querstreifen sich in allen Fasern meist in gleicher An-

richtig finden. Ich kann dieselbe durch mikrophotographische Aufnahmen guter Längsschliffe der verschiedensten Säugetierzähne durchaus bestätigen. (Siehe Tafel [illegible] Fig. [illegible] und Tafel I Fig. [illegible].) Die Querbänder liegen in gleichem Abstande über eine grosse Anzahl nebeneinander liegender Schmelzprismen, sobald letztere die denselben Richtungsverlauf besitzen. Unordnungen der Bänder zu finden, Abweichungen und Knickungen derselben, wie sie der Aufbau eines Zahnes manchmal geradezu erfordert, verwischen natürlich diesen Bau. Diese regelmässige Querstreifung beweist von vorneherein, dass sie in der ursprünglichen Anlage der Schmelzprismen gesucht werden muss und die Entwicklungsgeschichte lehrt, wie schon Hannover und später Baume näher beschrieben haben, dass junger Schmelz die Querstreifung auch ohne Einwirkung von Säuren aufweist. Dem letzteren Autor gelang es sogar, die Querbänder mit Farbstoffen zu imprägnieren. Das spätere normale Schmelzprisma sehr vieler Säugetiere zeigt häufig keine Querstreifung. Indessen lassen sich bei verschiedenen Tiergattungen auch ohne Einwirkung von Säuren mindestens Andeutungen, oft aber auch eine bestimmte Ausprägung der Querstreifung erkennen. Ich sah dieselbe nicht nur beim Menschen, sondern auch bei anderen Primaten, Wiederkäuern, Pferden und Schweinen, insbesondere auch bei den Karnivoren und zwar oft in der Nähe der Zahnbein-Schmelzgrenze, ohne dass die Partien nahe der Schmelzoberfläche dieselbe zeigten. (Tafel II Fig. 17.) Charles Tomes und Williams kamen zu ähnlichen Resultaten. Einzelne Nager, insbesondere die Ratten zeigen eine derartige Querstreifung der Prismen ohne Zusatz von Säure ganz besonders schön. (Tafel II Fig. 18.) Dieser Umstand beweist einmal, dass eine Säureeinwirkung für die Entstehung der Querstreifung nicht absolut notwendig ist, wie v. Ebner annimmt, anderseits, dass bei Zähnen, deren Gewebsentwicklung eine schnelle ist, auch beim fertigen Zahn ein Stehenbleiben der Verkalkung während der Histogenese zu konstatieren möglich ist. Auch in den Schneidezähnen der Ratte tritt in einzelnen Partien die Querstreifung ganz zurück, andernfalls erstreckt die letztere sich aber über eine ganze Anzahl von Prismen in höchster Regelmässigkeit des Abstandes der einzelnen Linien. Ja, letztere Linien ziehen oftmals durch den ganzen Schmelz, weil sie genau gewissen Bildungsperioden desselben entsprechen. Quergestreifte Schmelzsäulen zeigen bei scharfer Einstellung des Focus und hoher Vergrösserung einen leiterförmigen Bau. Ich stehe hier wieder mit v. Ebners Ansicht und Abbildung

im Widerspruch. v. Ebner gibt ausser der schon in Fig. 12 a u. b wiedergegebenen Zeichnung noch ein Bild der Querstreifung, welches ich in Fig. 19 wiederhole. Bei den Primaten aber auch z. B. der Ratte ist der Centralkörper mit der schon beschriebenen hell erscheinenden Cortikalschicht des Prismas deutlich zu erkennen. Die Rindenschichten zweier nebeneinander liegenden Prismen sind bei einer gewissen Einstellung deutlich durch eine scharfe Grenzlinie getrennt, wie es sonst bei ganz normalem Schmelzgewebe der Fall ist. Jedesmal, wo die Leitersprosse ansetzt, erscheint dieser Grenzstrich etwas verdickt. Es fragt sich nun, ob diese Querstreifung von dem Centralkörper oder der Cortikalschicht des Prismas ihren Ursprung nimmt. Die künstliche Erzeugung der Querstreifung durch Säuren mit gleichzeitiger Isolierung der Schmelzprismen durch mechanischen Druck gibt hierüber Aufschluss. (Siehe Tafel II Fig. 20.) Nach Anätzung von Schmelzprismen durch Säuren sieht man in geeigneten Präparaten bei einer scharfen Einstellung auf den Centralkörper der Prismen, dass derselbe aus einzelnen abgeschnürt erscheinenden dunkleren Abteilungen, zwischen denen sehr feine hellere Zwischenwände liegen, bestehen. (Fig. 20*s*.) Die cortikale Schicht folgt diesen Einschnürungen in den Contouren; die Querbänder erscheinen durchaus aus derselben Substanz formiert. Zwischen zwei Schmelzprismen kann man deutlich die Begrenzungslinie der unmittelbar aneinander liegenden hellen Cortikalschichten erkennen. Bei einer unscharfen Einstellung derartiger angeätzter Prismen schimmern die eingeschnürten teilweise der Kalksalze beraubten Abschnitte des Centralkörpers nur in dunklen Umrissen durch die Cortikalschicht durch. Derartige Bilder sieht man ganz klar nur in einzelnen Lagen von Schmelzprismen, in dickeren Schichten im allgemeinen nur die einfache Querstreifung derselben in unbestimmteren Contouren.

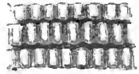


Fig. 19.
Schmelzprismen mit Salzsäure geätzt, um die Querstreifung zu zeigen. Vergröss. 770. Nach v. Ebner.

D. Streifen des Retzius.

Gewisse häufig im menschlichen Schmelze vorkommende Streifenbildungen beschrieb der Entdecker ziemlich genau. Auf Längsschliffen sieht man dieselben besonders im oberen Teil der Krone in Form von mehr oder minder stark ausgeprägten und verschieden breiten Linien, welche Parabeln bildend gleichsam über die

Dentinhöcker gestülpt sind. (Vergl. Tafel II Fig. 21.) Die äusseren erscheinen an der Spitze des Schmelzhöckers abgeschnitten. Retzius, Linderer und Kölliker sahen sie schon als schichtenweise Ablagerung des Schmelzes an. Baume und v. Ebner wiesen nach, dass die Streifen durch lufthaltige Hohlräume hervorgerufen seien und widerlegten damit die Theorie von Hannover, Czermak, Wedl und Hertz, wonach Pigment die Ursache der Braunfärbung dieser Linien sein sollte. Im auffallenden Licht erscheinen die Streifen weiss. Auf Querschliffen von Kronen liegen die Streifen konzentrisch und parallel der Schmelzoberfläche. Auch in der Nähe des Zahnhalses findet man häufig eine grosse Anzahl von kleineren Streifen dicht nebeneinander liegend, während das übrige Schmelzgewebe ganz normal sein kann. (Vergl. Tafel II Fig. 22.) Die Streifen erscheinen nur in durchfallendem, nicht in auffallendem Lichte braun. v. Ebner sieht deshalb als Ursache für das Auftreten der Retziusschen Streifen eine grössere Menge von nicht verkalkter interprismatischer Zwischensubstanz an.

Sehr interessant ist die Beobachtung, welche schon Czermak gemacht hat, dass die von Leuwenhock entdeckten Schmelzwülstchen mit den Linien des Retzius in engem Zusammenhange stehen. Czermak gab an, dass die Oberfläche des Schmelzes bei frisch durchbrechenden bleibenden Zähnen fast immer ein besonderes System von feinen sehr zahlreichen, regelmässigen Furchen und Wülstchen erkennen liesse. An Milchzähnen konnte Czermak dieselben niemals entdecken, fand aber, dass bei bleibenden Zähnen die Gebilde stets in querer Richtung um den Schmelz ringsherum und in sich selbst zurücklaufen. Weiter sah schon dieser Autor, dass am Zahnhalse die Wülste am wenigsten breit und ganz dicht stehen, indem auch die dazwischen liegenden Furchen sehr schmal sind. Je näher man bei der Betrachtung der Spitze der Zahnkrone rücke, um so breiter würden die Wülste und Furchen. Durch Czermak, ganz besonders aber durch v. Ebner und Preiswerk wurde darauf hingewiesen, dass diese Gebilde mit Streifen des Retzius in engem Zusammenhange stehen, welche in Form feiner Linien besonders in der Nähe des Zahnhalses im Schmelze auftreten. v. Ebner sagt sogar, dass dieselben aneinander gebunden seien. Preiswerk bezeichnete die feinen Retziusschen Linien als Contourscheiden, während er die starken Streifen Contourbänder und die besprochenen Schmelzwülstchen Perikymatien nennt. Preiswerk glaubt demnach auch zwei Arten

der Entstehung von Retziusschen Linien annehmen zu müssen und sagt darüber folgendes: „Erstens und dies ist der seltenere Fall, handelt es sich um die abgeschliffenen Enden von Prismenreihen, die in gemeinschaftlicher, einheitlicher Biegung und zwar in cirkulärer Richtung begriffen waren; was schon v. Ebner angedeutet. Gewöhnlich sind jedoch die Contourlinien der Ausdruck einer Aenderung der chemischen Beschaffenheit der Schmelzsubstanz, was daraus hervorgeht, dass auf geeignet präparierten Schliffen die Retziusschen Linien durch Jod sich gelb färben, was auch für die Contourbänder der Fall ist, während die übrige Schmelzsubstanz ungefärbt bleibt. Es kann sich also nicht um Luft handeln, wie die jetzt herrschende Ansicht annimmt; wozu sollte auch in einem Gewebe von solcher Dichtigkeit und so hohen physiologischen Leistungen in Bezug auf Kraft Luft dienen? Ich denke vielmehr an eine Art Klebsubstanz, die den Zahn vor dem Entblättern zu schützen hat, und man kann in der That durch den Versuch die Bestätigung darin finden. Schleift man nämlich am lateralen oder tangentialen Längsschliff so, dass die Contourlinien weggeschliffen werden, so hört die Kontinuität auf und der Schmelz zerfällt in feine, von den Zonien gebildete Streifchen. Demnach bestehen die Contourstriche und wohl auch das Contourband aus Klebstoff, das den Zweck hat, die Zonien zusammenzuhalten.“

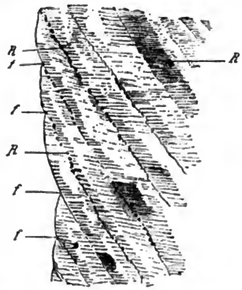


Fig. 23.
Radialer Längsschliff d. Schmelzoberfläche nahe am Zahnhalse vom bleibenden Eckzahne. Vergr. 200. *R*. Retziussche Linien mit abgebrochenen Schmelzprismen. R^1. Retziussche Streifen aus der Tiefe durchschimmernd; *f* Furchen zwischen den Schmelzwülstchen. Nach v. Ebner.

Gegen die Ansicht Preiswerks, dass die Retziusschen Linien an Schliffen sich mit Jod färben lassen — ein Beweis, wonach dieselben nicht mit Luft gefüllt sein könnten — wendet sich v. Ebner in Köllikers Handbuch der Gewebelehre, 6. Aufl., in folgender Weise: „Was sich in Jod gelb färbt, ist natürlich nicht Luft, sondern die, auch nach meiner Annahme im Bereiche der Retziusschen Linien stets relativ reichlich vorhandene verkalkte Kittsubstanz.“ v. Ebner hat schon in seiner Monographie „Strittige Fragen über den Bau des Zahnschmelzes“ wie Preiswerk zwei Arten von Streifen des Retzius in Bezug auf ihre Entstehung erwähnt und hält auch in der neunten Auflage von

Köllikers Gewebelehre hieran fest. Er definierte damals die Entstehung derselben in folgenden Sätzen: „Die Braunfärbung der Parallelstreifen erster Art rührt von Luft her, die zwischen den Schmelzprismen in Spalten sich befindet, welche längs der reihenförmig angeordneten Schliffenden der Prismen an der Oberfläche des Schliffes münden.“ Ferner sagt der Autor: „Es gibt aber unzweifelhaft auch Retziussche Streifen zweiter Art, welche mitten in der Substanz des Schliffes liegen und an welchen man weder an der oberen noch an der unteren Schlifffläche die Einbruchstellen der Luft längs abgeschliffener Prismenenden konstatieren kann.“ Für beide Arten aber nimmt v. Ebner die gleiche Entstehung an, dass nämlich Luft zwischen Reihen von Schmelzprismen trete. Diese Luft trete in Spalten, welche durch Schrumpfung der interprismatischen Kittsubstanz entstanden seien.

Gegen diese Auffassung v. Ebners sprechen aber ziemlich gewichtige Gründe. Mit obigen Sätzen lassen sich allenfalls wohl die kleinen Contourstriche, nicht aber die breiten Contourbänder erklären. Dass Luft die braunen Streifen erzeugt, ist sicher, dass aber nur eine geschrumpfte Kittsubstanz Schuld sein solle, daran muss man grosse Zweifel hegen. Wo bleiben vor allen Dingen die eigentlichen verkalkten Schmelzprismen bei dieser Erklärung? Wir sehen in den breiten Contourbändern unter Umständen auch nicht eine Spur von Kalksalzen.

v. Ebner glaubt, da eine stärkere Anhäufung der Kittsubstanz bei den Streifen nicht nachweisbar sei, dass dieselbe weniger dicht und relativ wasserhaltig sei. Meines Erachtens ist an der Bildung dieser Streifen nur die mangelnde Expansionskraft der in das primäre organische Gewebe einzulagernden Kalksalze Schuld. Einerseits ist mit den Linien des Retzius sehr häufig eine Querstreifung der Prismen verbunden. (Siehe Tafel II, Fig. 17 und 24.) Bei stärkerer Entwicklung derselben erscheint aber auch der centrale Körper derselben gekörnt, ein Zeichen mangelhafter Kalkablagerung, welche ich in Fig. 25 wiedergebe. Diese Figur beweist, dass die Kalksalze in der Cortikalschicht der Schmelzprismen, soweit diese in dem Gebiet der Retziusschen Streifen liegen, in geringerer Menge angelagert sein müssen. Wir sehen nämlich eine dunkle Färbung dieser Schicht, aber unmittelbar daneben findet sich auch eine feine Begrenzungslinie der einzelnen Prismen und

zwar da, wo die Streifenbildung aufhört. Jene dunkle Färbung kommt durch die vermehrte Brechung der Randstrahlen in der kalkärmeren Cortikalschicht zustande. Als ihre Begleiterscheinung ist die Körnung der Centralschicht der Prismen zu erkennen. Dieselbe findet sich nicht in dem anliegenden normalen Schmelzgewebe, vermehrt dagegen im Falle des Vorhandenseins die schon in der Cortikalschicht der Schmelzprismen stattfindende Randstrahlenbrechung bedeutend, und wir sehen als Summe aller unscharfen Einstellungen der das Licht brechenden Prismen die dunklen Streifen des Retzius. Jedoch können wir noch stärkere Störungen des Verkalkungsprozesses der Schmelzprismen beobachten. Gewisse Mengen von Kalksalzen müsste man doch in einem solchen breiten Contourbande finden können, wie man es z. B. bei Hypoplasien sieht. Wer diese Anomalien der Zähne näher untersucht hat, wird mir zustimmen, dass eine geschrumpfte Kittsubstanz nicht allein die Ursache sein kann. Hier hat offenbar der ganze Bildungsprozess der Schmelzprismen einen Stillstand erfahren, und zwar hat eine Verkalkung der Prismen überhaupt nicht stattgefunden, nur die organische Substanz der Prismen wird gebildet. Diese wird dann nicht in ihrer normalen Ausdehnung angelegt. Der Effekt ist entweder „welliger Schmelz“, wenn eine grössere Zahl von Schmelzzellen cirkulär die Prismenbildung aussetzt. (Vgl. Tafel III Fig. 26.) Oder das Resultat ist Bildung von Grübchen, wenn der Prozess kleinere Bezirke betrifft. Die Folge ist das Fehlen der gewöhnlichen glatten Oberfläche des Schmelzes. In der Umgebung der mangelhaften oder fehlenden Prismenbildung kann man die mangelhafte Verkalkung der Cortikalschicht, die allmähliche Ausbildung der Querstreifung der Prismen, endlich das Hineinbeziehen des Centralkörpers des Prismas beobachten. Ich verweise auf Fig. 43 meines mikrophotographischen Atlasses der pathologischen Histologie menschlicher Zähne, welche diese Verhältnisse wiedergibt. Wir ersehen daraus, dass nicht nur die vermeintliche Kittsubstanz in Wahrheit die Cortikalschicht, sondern auch der Centralkörper bei der Bildung der Streifen des Retzius beteiligt sein kann. Mangelnde Verkalkung dieser Teile ist Grundbedingung, eine mangelhafte Bildung der organischen Substanz geht dabei häufig einher, beides Momente, welche zusammenwirkend eventuell auch Formveränderungen der Schmelzoberfläche herbeiführen können. Nun ist die Bildung der Schmelzwülstchen (Perikymatien Preiswerks) leicht zu verstehen. Zu jedem derselben gehört eine

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

schen Faserstreifen. J. Linderer gab davon eine ziemlich genaue Beschreibung der Entstehung; er nennt dieselben Schichtstreifen und konstatiert, dass man schichtenweise Querschnitte und damit abwechselnd Längsschnitte der Schmelzprismen sieht. Diese optische Erscheinung sei durch verschiedene Biegungen, welche jede Schmelzfaser mache, bedingt. Die genaueste Beschreibung dieser Schreger-schen Linien gab wohl v. Ebner, welcher die aus dem Schmelze nach der Oberfläche durchschimmernden Streifen in unmittelbare Beziehung zu den an Längsdurchschnitten bemerkbaren Bändern bringt. Letztere erscheinen abwechselnd hell und dunkel, stehen am Zahnhalse nahezu senkrecht zur Schmelzoberfläche und nach der Schneide zu aber mehr aufrecht. Die Schregerschen Streifen entstehen somit nach v. Ebner und Kölliker durch Kreuzungen von Prismengürteln. Nach meinen Beobachtungen verlaufen dieselben als dunkle Linien über dem Dentinhöcker fast gradlinig, an den Seitenflächen setzen sie an der Zahnbeingrenze an und ziehen in einem Bogen, dessen tiefste Einsenkung nach dem Zahnhalse zu liegt, gegen die Dentinoberfläche. (Vgl. Tafel III Fig. 28.) v. Ebner hält das Vorkommen von schiefwinkligen Zickzackbiegungen, wie sie schon von Czermak und Kollmann angenommen wurden, für unerwiesen. Ich kann jedoch diese älteren Angaben an verschiedenen Präparaten bestätigen. (Vgl. Tafel III Fig. 29.) Es spielen somit bei der Entstehung der Schregerschen Faserstreifen nicht allein Kreuzungen, sondern auch Knickungen von Schmelzprismenbündeln eine Rolle. Die von mir gegebene Erklärung der Struktur der Schmelzprismen, ihr allmählicher Aufbau und Konsolidation lässt die Meinung zu, dass eine Verschiebung der noch nicht vollständig starren Schmelzprismen während der Entwicklungsperiode die Ursache ist. Der Kampf um den gegebenen Raum innerhalb des Schmelzorganes, welchen die formierenden Schmelzzellen auszufechten hatten, spielt dabei eine Hauptrolle. Wir werden bei der Entwicklung des Schmelzes sehen, dass die

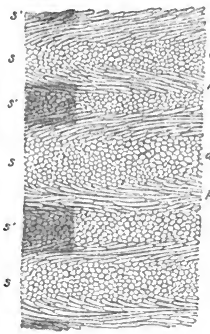


Fig. 27.

Längsschliff des Schmelzes zum Eckzahne mit Salzsäure geätzt. Mittlere Schmelzlage. Auf der rechten Seite das Bild im durchfallenden, auf der linken im auffallenden Lichte gezeichnet. *d* Diazonien; *r* Parazonien; *ss'* Schregersche Faserstreifen abwechselnd hell und dunkel. Nach v. Ebner.

Bedingungen für eine Verschiebung der Strukturelemente gegeben sind.

Bemerkenswert ist noch der Nachweis Czermaks, dass die Schregerschen Faserstreifen bei verschieden einfallendem Lichte hell oder dunkel erscheinen; durch Azimuthaldrehung von [illegible] wird ein dunkler Streifen hell und umgekehrt. Durch v. Ebners genaue Untersuchungen wissen wir, dass die hellen Faserstreifen nur durch die Schmelzprismen selbst bedingt sind, welche das Licht stark reflektieren.

Während bei den Schregerschen Faserstreifen die einzelnen Schmelzprismenbündel zwar verschiedenartig angeordnet sind, aber immerhin doch die eine Hauptrichtung halten, kommen insbesondere bei Tierzähnen direkt sich kreuzende Schmelzprismen [illegible] welche an diesem Orte wenigstens erwähnt werden müssen. Preiswerk machte zuerst darauf aufmerksam und nannte die Flächen, welche durch die längs- und quergetroffenen Prismen gebildet werden, Zonen und zwar die ersteren Parazonien, die letzteren Diazonien. Man muss sich vergegenwärtigen, dass es sich hier um gitterförmig angeordnete Lager von Schmelzprismen handelt, welche den Schmelz in verschiedener Richtung, und zwar häufig sogar senkrecht zu einander gelagert, durchziehen. Ich gebe auf Taf. III Fig. 8 ein derartiges Bild wieder, wie es nach meinen Beobachtungen hauptsächlich an den [illegible] vorkommt, wo eine grösstmögliche Kraftleistung von dem Gewebe beim Gebrauch der Zähne verlangt wird.

Drittes Kapitel.

Die Entwicklung des Schmelzes.

Wir sahen in der Einleitung, dass der Zahnschmelz durch Vermittlung des Schmelzorganes produziert wird und zwar allein von dem inneren Cylinderepithel, welches zu eigentlichen Schmelzzellen (Ameloblasten) sich umwandelt. An dem Umschlagsrande der Epithelscheide findet zunächst eine starke Zellvermehrung und zwar infolge mitotischer Zellteilung statt. Die Cylinderepithelzellen werden länger, der Kern derselben rückt scheinbar mehr nach aussen, in Wahrheit wächst jedoch das Protoplasma ihrer Zellleiber. Dann aber bleiben die Zellen lange Zeit so bestehen, bis die Produktion des Zahnbeins beginnt. Unmittelbar darauf, etwa im sechsten Monat des Embryonallebens, werden nun die vergrösserten Cylinderepithelzellen zu wahren Ameloblasten. Lange Zeit waren die Ansichten der Autoren über die Entwicklung des Schmelzes selbst in den soeben angeführten Grundzügen total verschieden. Die ersten Forscher, welche über die Struktur des Schmelzes berichten, so Hunter, Raschkow, Purkinje, glaubten, dass der Schmelz die Ausscheidung eines besonderen Häutchens der Membrana adamantinae sei.

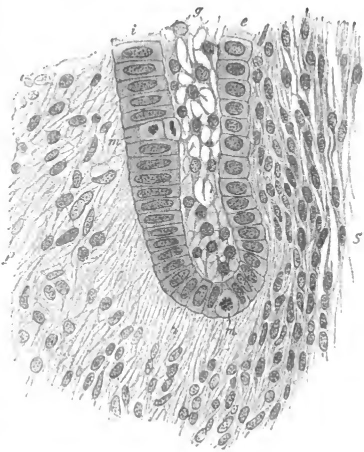


Fig. 32.

Umschlagsrand des Schmelzorganes von einem fünfmonatlichen Embryo.

P Gewebe der Pulpa am Umschlagsrand übergehend in *S*, das Bindegewebe des Zahnsäckchens; *e* äusseres, *i* inneres Epithel; *g* Gallertgewebe des Schmelzorganes; *m* Mitosen im Epithele nach v. Ebner.

Diese Autoren behaupteten, dass die Schmelzzellen — jede für sich — als Drüsen aufzufassen seien, welche die Schmelzprismen secernierten. Gegen diese Auffassung wandte sich schon *Schwann*. Der Begründer der Histologie erklärte es für möglich, dass die Schmelzprismen entweder die kontinuierliche Fortsetzung der Prismen der Schmelzmembran bilden, die an ihrer einen Seite mit Kalksalzen gefüllt werden, oder dass die Zellen der Schmelzmembran sich von dieser trennen und mit dem schon gebildeten Schmelz verwachsen. *Schwann* entscheidet sich zumeist für die letztere Ansicht und meint, dass die Schmelzzellen mit Kalksalzen angefüllt werden oder in ihrer ganzen Dicke verknöchern, nachdem vorher ihre ganze Höhle mit einer organischen Substanz ausgefüllt ist. Mit dieser Auffassung von *Schwann* wurde ein ähnlicher Vorgang bei der Schmelzbildung angenommen, wie es die später aufgestellte Konjugationstheorie der Pulpazellen für das Zahnbein lehrt. Es sollten somit an dem Aufbau eines Schmelzprismas eine ganze Reihe von Schmelzzellen beteiligt sein, welche durch Verkalkung je einer ganzen Zelle nacheinander den Aufbau des Schmelzprismas besorgten. *Marcusen* schilderte dann die direkte Umwandlung der Schmelzzellen in Schmelzprismen mit folgenden Worten: „Man sieht die Cylinder des Schmelzmembran noch etwas länger werden, der Kern verschwindet aus ihnen mehr und mehr, zuletzt ganz. Dann scheinen sie fähig geworden zu sein, Kalksalze aufzunehmen“.

Aehnliche Differenzen in der Meinung der Autoren finden wir über das erste Produkt der Schmelzzellen. Die erste Lage jungen Schmelzes über diesen Zellen hielt *Huxley* sogar für das sekretorische Organ und sprach den Schmelzzellen jede Bedeutung bei der Bildung des Schmelzes ab. Bei der Beurteilung des Vorgangs haben die meisten Autoren bis auf den heutigen Tag nicht die allmähliche noch immer *fortschreitende* Konsolidierung der ursprünglichen nahezu rein organisch angelegten Schmelzprismen in Betracht gezogen. Wir werden im Laufe der Darstellung sehen, dass diese Konsolidierung der Schmelzprismen durch Aufnahme von Kalksalzen *während der ganzen Bildungsperiode des Schmelzes* und zwar, wie wir ebenfalls sehen werden, *von je einer einzigen Schmelzzelle für jedes Prisma besorgt wird*.

Erst später erkannte man die Bedeutung des *Cylinderepithels* als solches, und es war zunächst das Verdienst *Köllikers*, *Lents* und *Waldeyers*, nachgewiesen zu haben, dass der Schmelz ein

Produkt der Schmelzzellen sei. Kölliker und Lent nahmen an, dass die Schmelzzellen dabei völlig unverändert bleiben. J. Tomes liess dann die Schmelzprismen aus der Verknöcherung der Schmelzzellen selbst hervorgehen. Er beschreibt in seinem System der Zahnheilkunde, 1861, die Schmelzbildung folgendermassen: Das innere Ende der Säulen (Schmelzzellen) verkalkt nicht gleichmässig durch seine ganze Dicke, sondern die äussere Hülle nimmt die Kalksalze zuerst auf und gleichzeitig verbinden sich die Säulen seitlich. Der Autor glaubt weiter, dass die Verkalkung der centralen Portion nach und nach vor sich geht, anscheinend auch, dass dieselbe nicht so stark verkalkt als wie die äussere. Er schliesst das daraus, dass in der fertigen Faser das Innere sich beim Zusatz von Säuren früher auflöst als das Aeussere. Waldeyer bestätigte die Ansicht Tomes in seinen Untersuchungen über die Entwicklung der Zähne und behauptete mit aller Sicherheit, dass die Schmelzzellen selbst verkalken. (Fig. 34.)



Fig. 33. Schmelzzellen nach John Tomes.

Waldeyer sah ferner in seinen Präparaten, dass jede Schmelzzelle eine Membran besässe, welche die beiden schmalen Enden frei liesse. Er vergleicht die Membran mit einem Schlauch, aus welchem sich der Inhalt herausdrücken lässt. Den Kern fand er immer am äusseren Ende der Schmelzzellen liegend, wie auch Robin und Magitot schon früher festgestellt hatten. Waldeyer wandte sich dann noch gegen die Köllikersche Annahme, welche derselbe in seinem Handbuche der Gewebelehre des Menschen (1863) ausgesprochen hatte, wonach der Schmelz nach Art der Cutikularbildungen eine Ausscheidung der Schmelzzellen sei. Waldeyer bekräftigte die oben ausgesprochene Tomessche Ansicht mit folgendem wichtigen Beweise: „Das verkalkende Ende der Schmelzzellen hat durchaus keine regelmässigen Contouren, sondern die Grenzlinie geht verschieden tief an der Circumferenz der Schmelzzellen herab. Entfernt man das ansitzende Schmelzprismenstück, so zeigt die Schmelzzelle dort nicht etwa einen Verschluss durch einen Membran, sondern hat eine offene Mündung, aus der ihr Protoplasma heraussteht, meist in kleinen, konischen Stücken. Tomes hat dieselben sehr gut beschrieben und ich will sie die Tomesschen Fortsätze nennen. Diese Fortsätze haben ganz den Anschein von unverkalkten Protoplasmamassen, die in



Fig. 34. Schmelzzelle nach Waldeyer.

die Mitte des verkalkten Stücks noch hineinragen und die beim Abreissen aus dem Schmelzprisma herausgezogen und an der Zelle haften geblieben sind". Auch Waldeyer nimmt also wie Tomes an, dass der Verkalkungsprozess von aussen nach innen in der Schmelzzelle fortschreite. Der Autor bildet isolierte Schmelzprismen sammt Tomesschen Fortsätzen in einer noch heute mustergiltigen Weise ab. Gegen die Angabe von Tomes, Waldeyer und Charles Tomes, dass die Schmelzprismen von aussen und der Fortsatz der Schmelzzelle zuletzt verkalke, wendete sich nun v. Ebner in Scheffs Handbuch der Zahnheilkunde, 1891. Dieser Autor nimmt gerade den umgekehrten Fortgang an und beschreibt den Vorgang der Schmelzbildung folgendermassen: „Das Protoplasma der Schmelzzellen wandelt sich an seinem inneren Ende in eine homogene Masse um, die zunächst wie ein Cutikularsaum der Zelle erscheint, bald aber mit den homogenen, von den Nachbarzellen gebildeten Massen zusammenfliesst. Während dieses Prozesses sondert sich aber gleichzeitig in der unmittelbaren Fortsetzung des Protoplasmakörpers eine faserig scheinende Substanz ab, die alsbald in der Weise verkalkt, dass unter Auftreten von körperlichen Ablagerungen, welche dann zusammenfliessen, ein junges Schmelzprisma zustande kommt. Zwischen den Prismen bleibt aber noch reichliche homogene, unverkalkte Kittsubstanz, welche allmählich spärlicher wird, wenn nachträglich die Schmelzprismen, die anfänglich relativ dünn sind, sich noch verdicken. Beim Schmelze bleibt die zusammenhängende Masse unverkalkte Kittsubstanz, die Protoplasmafortsätze der Zellen wandeln sich dagegen in verkalkte Prismen um. Die Schmelzbildung schreitet wohl in der Weise fort, dass die Schmelzzellen an ihrem inneren Ende bis zur Vollendung der Schmelzbildung fortwachsen, während das äussere den Kern enthaltende Ende beständig Stoffe assimiliert, die aus der intermediären Schicht und weiterhin aus der Schmelzpulpa aufgenommen werden. Da jede Schmelzzelle von Anfang bis zu Ende am Aufbaue eines und desselben Schmelzprismas arbeitet, gehen die Prismen durch die ganze Schmelzdicke. Da Einschübe von neuen Zellen während der Schmelzbildung nicht nachgewiesen werden können, so wird die Vergrösserung der

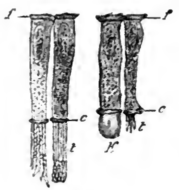


Fig. 35.
Isolierte Schmelzzellen. *K* Homogene Masse einen Tomesschen Fortsatz bedeutend; *c* Cuticularsaum: *f* Fussplatten; *t* Tomessche Fortsätze (Anlage der Prismen) der Schmelzzellen nach v. Ebner.

Schmelzoberfläche durch ein geringes Dickenwachstum der Schmelzzellen neben dem Längenwachstum erklärt werden müssen, das mit der nachweisbaren Dickenzunahme der Schmelzprismen gegen die äussere Oberfläche harmoniert. Die Kreuzungen der Prismen sind durch entsprechende Lagenveränderungen der Schmelzzellen selbst bedingt, indem man an letzteren bereits die Kreuzungen nachweisen kann.“ Durch diese hervorragende Arbeit v. Ebners über den Bau des Schmelzes war vor allen Dingen dauernd festgelegt, dass die Schmelzzellen in einer Lage die ganze Schmelzbildung vollenden. Gleichzeitig erschien in dem Scheffschen Handbuche eine Arbeit von Morgenstern über die Entwicklung der Zähne, in welchem die Schmelzbildung ebenfalls besprochen wird. Dieselbe griff auf die alte Anschauung Schwanns wiederum zurück, dass die Schmelzzellen durch Bildung vieler Lagen hintereinander und Umwandlung derselben in homogene Schmelzfasern entstünden. Diese Resultate erhielt Morgenstern offenbar durch die Beobachtung der Entstehung der Querstreifung der Schmelzprismen. Eine ganz eigentümliche Erklärung der Entwicklung des Schmelzes gab bald darauf Bödecker in seiner Anatomie und Pathologie der Zähne. Nach ihm soll das innere Epithel sich erst in Markkörperchen verwandeln, aus welchen die Ameloblasten entspringen, und dann sollen die letzteren, bevor sie sich in Schmelz verwandeln, noch einmal in Markgewebe zerfallen. Bödeckers Resultate sind offenbar an Präparaten gefunden, welche lange Zeit mit Chromsäure behandelt waren. Es ist aber schon seit Jahrzehnten bekannt, dass Chromsäure besonders in embryonalen Geweben netzförmige Kunstprodukte hervorruft. Solche hat Bödecker offenbar vor sich gehabt. Am deutlichsten sieht man das an seinen Abbildungen des sternförmigen Gewebes. Zwischen den einzelnen Fortsätzen der Zellen sieht man deutlich den netzförmigen Zerfall der kolloiden Flüssigkeit der Schmelzpulpa. Die Anwendung der unsicheren Methode mit Chromsäure zieht sich wie ein roter Faden durch die Arbeiten Bödeckers und beweist, dass man niemals einseitig untersuchen soll.

Solche Darstellungen können den klaren und wohlbegründeten Angaben v. Ebners gegenüber keinesfalls standhalten. In Bezug auf die ganze Formation des Schmelzes wird die letztere Arbeit für alle Zeit grundlegend sein.

In der neuesten Auflage von Köllikers Handbuche der Gewebelehre des Menschen hat v. Ebner seine damalige Arbeit noch bedeutend erweitert. Vor allen Dingen geht der Autor mehr

auf seine Isolationspräparate ein. Bei Isolierung der Schmelzzellen sieht man demnach zunächst in der ersten Bildung einen cutikularen Deckel. Der Körper der Schmelzzellen wird dann netzartig und es erscheinen unterhalb des Cutikularsaumes Körnchen, welche sich in Osmiumsäure schwärzen. (Graf Spee.) Der neue Schmelz löst sich nicht in Säuren, ist somit noch sehr arm an Kalksalzen und leicht färbbar. Werden in diesem Stadium die Schmelzzellen von ihrem neuen Produkte abgerissen, so treten die Tomesschen Fortsätze deutlich hervor. v. Ebner glaubt nun, dass dieses die Anlagen der Schmelzprismen sind, während das Wabenwerk, aus welchem sie herausgerissen sind, die anfänglich sehr reichliche Kittsubstanz der Prismen darstellt, auf deren Kosten dieselben später sich verdicken. Die Tomesschen Fortsätze oder jungen Schmelzfasern sind nach v. Ebner schmäler als das innere Ende der Schmelzzellen. Bisweilen erhält man Schmelzzellen isoliert, an deren innerem Ende statt eines Tomesschen Fortsatzes eine glänzende homogene Masse von nahezu derselben Breite wie die Schmelzzelle aufsitzt; es sind dies wohl Tomessche Fortsätze, welche noch von einer Hülle von Kittsubstanz umgeben sind. (Siehe Fig. 38 k.) Die anfänglich weichen Tomesschen Fortsätze werden zu Schmelzprismen, indem in Form von Kugeln und Körnern auftretende Kalkmassen untereinander verschmelzen und zugleich die Verkalkung von der Achse der Fortsätze gegen die Peripherie fortschreitet. Anfänglich sind die Prismen dünn, verdicken sich aber auf Kosten der umgebenden Kittmasse, welche mehr und mehr in die Verkalkung mit einbezogen wird. Die Verkalkung und innere molekulare Umbildung der Schmelzprismen schreitet fort, nachdem dieselben bereits auf lange Strecken gebildet sind; die jungen Schmelzprismen zeigen die Neigung zur Längsspaltung und sind positiv doppeltbrechend und wegen der relativ noch reichlichen Kittmasse auf längere Strecken isolierbar, während erst im völlig ausgebildeten Schmelze die härter gewordenen Prismen negative Doppelbrechung und mannigfache Quer- und Schrägbrüche beim Zertrümmern zeigen. Die Dicke der Prismen nimmt ferner in der Richtung vom Zahnbein gegen die Oberfläche absolut zu, was mit einer Dickenzunahme der Schmelzzellen während der fortschreitenden Schmelzbildung Hand in Hand geht. Die mögliche Dicke, welche ein Schmelzprisma erreichen kann, ist wohl durch den jeweiligen Durchmesser einer Schmelzzelle zur Zeit der Ablagerung der entsprechenden Schmelzlage vorgezeichnet.

Ich muss hier einiges gegen die Meinung von v. Ebner ein-

wenden. Wir sahen bei der Betrachtung des fertigen Schmelzes, dass die Annahme einer Kittsubstanz zwischen den Schmelzprismen auf optischer Täuschung beruhte. Die Entwicklung des Schmelzgewebes bestätigt das noch in hohem Grade. Wenn man die Bildung des Schmelzes in seinen ersten Anfängen verfolgt, so sieht man in Präparaten, bei welchen die Tomesschen Fortsätze an den Prismen herausgezogen sind, dass der neugebildete Schmelz in der Aufsicht einer Honigwabe gleicht, wie es Fig. 39 auf Tafel III zeigt. Die Tomesschen Fortsätze sind aus der Mitte der Prismen herausgerissen. Letztere zeigen für jeden Fortsatz eine der Breite derselben entsprechende Oeffnung in der Mitte. Um diese dunkel erscheinende Einsenkung liegt der eigentliche Körper des Prismas und um diesen Körper eine dunklere Zwischensubstanz zwischen den Prismen. Wir müssen nun auf die erste Entstehung zurückgreifen und vor allen Dingen Isolationsprodukte dieser Gebilde betrachten. Die von Waldeyer und von v. Ebner isolierten Schmelzzellen zeigen ein gleichförmig gekörntes Protoplasma in dem Zellleibe. Dieselben wurden aus Präparaten gewonnen, welche mit Müllerscher Flüssigkeit konserviert waren. Die Beobachtung bei Osmiumsäurepräparaten lehrt ganz dasselbe, solange die Schmelzbildung noch nicht eingesetzt hat. (Fig. 36.)

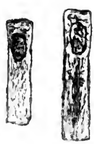


Fig. 36. Schmelzzellen unmittelbar vor der Schmelzbildung.

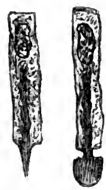


Fig. 37. Schmelzzellen bei beginnender Schmelzbildung.

Sowie dieselbe aber auftritt, wird die Schmelzzelle deutlich in zwei Teilen formiert. Der centrale Teil, welcher durch Osmium hellbraun gefärbt wurde, hat auf Längsschnitten die Form eines Bandes, welches vom Kern im inneren Teile des Prismas läuft. Die Cortikalschicht der Schmelzzellen bleibt dagegen unverändert hell. Noch deutlicher wird der Unterschied, wenn man bei diesen Osmiumsäurepräparaten Färbungen mit Kernschwarz oder Safranin ausführt. Der innere Körper des Prismas wird dann stärker gefärbt, während der äussere farblos bleibt. (Siehe Tafel III Fig. 38 und Tafel IX Fig. 121.) Ich bemerkte ferner, dass, sowie die Schmelzbildung beginnt, die Schmelzzellen, welche auf weite Strecken hin gleich lang waren, sofort ein grösseres Längenwachstum aufnehmen. Dem braunen centralen Teile entsprechend, treten herausgezogene Tomessche Fortsätze zunächst in gleicher Breite in den neu

gebildeten Schmelz ein, spitzen sich darin aber meistens sofort zu. Die Waldeyerschen Zeichnungen isolierter Schmelzprismen, sowie auch schon vorher die Tomesschen Abbildungen scheinen nach meinen Beobachtungen doch von den wahren Strukturverhältnissen ein richtigeres Bild zu geben als wie sie von v. Ebner in Scheffs Lehrbuch und auch in dem neuen Köllikerschen Werke gegeben sind. v. Ebner zeichnet nämlich die Tomesschen Fortsätze auf längere Strecken hin in gleicher Breite wie die Schmelzzellen verlaufend. Dieses kommt nach meinen Beobachtungen seltener vor, und selbst v. Ebnersche Präparate isolierter Schmelzzellen, welche der Autor mir gütigst zur Verfügung stellte, zeigen spitz zulaufende Tomessche Fortsätze. (Siehe Walkhoff, Mikrophotographischer Atlas der normalen Histologie menschlicher Zähne. Fig. 105 und [illegible] isolierten Zellen fand v. Ebner das äussere Ende der [illegible] etwas verbreitert und aussehend wie ein glänzender [illegible] Schmelzzellen in situ erscheint derselbe als dunkle Be-[illegible] gegen die intermediäre Schicht.

[illegible] aber auch noch andere Produkte bei der [illegible] Schmelzes [illegible] welche einer besonderen Besprechung [illegible] Tomesschen [illegible] fast homogen aus-[illegible] neugebildete [illegible] Erscheinungen findet [illegible] Durch enges An-[illegible] das erste Stadium der [illegible] der eigent-[illegible]

[illegible] Vorstadium der [illegible] diese Periode [illegible] Unterlage ab-[illegible] der [illegible] die ersteren [illegible] Teil der [illegible] neugebildeten [illegible] Zellen-[illegible] Die [illegible] lässt [illegible] Dass sie [illegible] Ebner [illegible] Epithel-

kitt sind aber eine Vorbedingung für die von den meisten Autoren angenommene Kittsubstanz, deren Ursprung sonst überhaupt nicht zu erklären wäre.

Bei Osmiumsäurepräparaten zeigt sich nur zuweilen eine ganz feine Begrenzungslinie zwischen den Prismen. Durch meine Beobachtung, dass der centrale Teil der Schmelzzelle bei beginnender Schmelzbildung sich stark färbt, und gleichzeitig der Tomessche Fortsatz aus ersterem direkt entsteht, glaube ich die Annahme v. Ebners widerlegt zu haben, dass die Verkalkung vom Centrum des Prismenquerschnittes gegen die Peripherie fortschreite. Gerade das Umgekehrte scheint mir der Fall zu sein. Der Tomessche Fortsatz bildet die organische Vermittlung für die weitere Kalkzufuhr, welche für die Vollendung der Prismen nötig ist und nach aussen im Protoplasma abgelagert wird. Bestätigt wird diese Annahme durch das Verhalten der Tomesschen Fortsätze bei einer Entkalkung des jungen Schmelzgewebes. Infolge ihrer organischen Beschaffenheit bleiben sie sehr lange Zeit erhalten, was nicht möglich wäre, wenn sie weit mehr Kalksalze enthielten als die Peripherie des Prismas, wie es v. Ebner annimmt.

Das Protoplasma der Cortikalschicht des neu zu bildenden Prismas wird demnach für die aufzunehmenden Kalzsalze stärker organisch vorgebildet als der betreffende centrale Teil der Schmelzzelle. Nur an der Oberfläche der Tomesschen Fortsätze finden sich kleine Kalkablagerungen in Form von Körnchen, welche den Uebergang der organischen zur anorganischen Substanz ausdrücken. Andrews hält diese Körnchen für Calcoglobulin, welches den Uebergang von dem völlig kalkifizierten Schmelz zu den Körnermassen der Ameloblasten bildet. Eine wirkliche Organisation dieser Kalkkugeln, wie die Kalkosphäriten immer aufweisen, ist jedoch an diesen Körnchen nicht zu entdecken. Letztere sind überhaupt von minimaler Grösse. Die von Andrews angenommene Kittsubstanz, welche nach diesem Autor ein modifiziertes Plasma der Ameloblasten ist und nur dem Grade nach von den Schmelzprismen darin differiert, dass sie nicht in Körnchen kalkifiziert, ist schon durch das auf S. 19 erwähnte Vorkommen von Kalkkügelchen in der cortikalen Schicht von mir widerlegt. Die Verkalkung des Schmelzprismas ist somit als eine Ausscheidung von Kalksalzen an der innern Seite der Schmelzzellen und zwar in dem Protoplasma des Zellleibes selbst aufzufassen, indem zunächst der periphere Teil des Prismas bis zu einem gewissen

Grade petrifiziert, während der innere Teil später nachfolgt. Die Verkalkung des letzteren ist jedoch am Schluss des Verkalkungsprozesses eine intensivere als bei der peripheren Schicht.

Es erübrigt nun, nochmals auf den Ausgangspunkt der Betrachtungen über die Schmelzbildung zurückzukommen, nämlich auf die jüngste Formation des Gewebes. Die Wabenbildung mit den herausgezogenen Tomesschen Fortsätzen bei Trennung der Schmelzzelle vom neugebildeten Schmelz, welche ich eingangs schilderte, müssen nach meiner Meinung so aufgefasst werden, dass das innere Ende der Prismen sich schon peripher im Petrifikationsstadium befindet und nicht wie v. Ebner meint, das Wabenwerk aus reichlich entwickelter Kittsubstanz bestehe, auf deren Kosten sich späterhin die Schmelzprismen verdicken sollen. Das Wabenwerk ist der Centralkörper der sich formierenden Schmelzprismen, das zeigt einerseits die homogene, feste Beschaffenheit, anderseits die sichere Färbbarkeit dieser Substanz bei Osmiumsäurepräparaten. Man könnte hier wohl von einer adamantinogenen Substanz sprechen. Es liegt aber noch um jede Wabenzelle eine messbare dicke Schicht, welche in solchen Präparaten noch dunkler erscheint. In dieser ist wohl die Grundlage der Cortikalschicht des Prismas, wie ich es beim fertigen Schmelzgewebe geschildert habe, zu suchen. Sicherlich befindet sich hier im Wabenwerk eine stark organische Substanz, das beweist die Schwärzung derselben, wenngleich man sich nicht verhehlen darf, dass auch die verschiedenen Brechungsindices zur Erzeugung dieses optischen Bildes beitragen. Weiter spricht dafür die Färbung dieser scheinbaren Kittsubstanz durch Carmin in Präparaten, welche in Formalin und Müllerscher Flüssigkeit gehärtet wurden. Durch Aufnahme der Kalksalze im centralen Teile des Prismas wird diese Cortikalschicht mit der Entwicklung stark zusammengedrängt und erscheint beim fertig gebildeten Prisma nur als schmaler von mir schon geschilderter heller Saum. Die unscharfe optische Einstellung und Beobachtung dieser hellen Cortikalschicht war bisher der Grund für die Annahme einer dunklen Kittsubstanz, wie ich es im zweiten Kapitel näher klar gelegt habe.

Dass die Verkalkung der Schmelzprismen im weiteren Verlaufe ihrer Entwicklung noch weiter fortschreitet, ist unzweifelhaft. Einerseits ergibt das die schon erwähnte Analyse des neugebildeten und fertigen Schmelzes von Hoppe-Seyler. Anderseits sehen wir den Centralkörper junger Prismen sich mehr zu einer 4—6 eckigen Form gestalten, und die Cortikalschicht dünn werden. Die Kalksalze werden in scheinbar molekularer Form schrittweise in das Proto-

plasma des Zellleibes eingelagert. Die vielfachen Kreuzungen und Verlagerungen von Schmelzprismenbündeln während der Entwicklung sind, wie Waldeyer schon richtig hervorhebt, nur möglich, wenn sie noch nach der ersten Bildung vorläufig noch weich und biegsam sind. Die Tomesschen Fortsätze vermitteln noch lange Zeit centralwärts den Stoffwechsel, bis die Prismen ziemlich gleichmässig konsolidiert sind. Mit der Verödung der Schmelzzellen hört jeder Stoffwechsel auf. Ein Härterwerden des Schmelzes, wie es insbesondere von den Zahnärzten nach dem Durchbruch der Zähne angenommen wurde, ist natürlich dann ganz unmöglich. Sehr häufig sind allerdings die oberen Schichten des Schmelzes mangelhaft angelegt. Sie werden nach dem Durchbruch schnell abgenutzt und täuschen dann ein Härterwerden des Schmelzes vor, indem die tieferen gut verkalkten Prismen zu Tage treten.

Die soeben gegebene Darstellung zeigt, dass nur das innere Epithel des Schmelzorganes Schmelz produziert, und dass während der ganzen Schmelzbildung nur eine einzige Lage von Schmelzzellen für den Aufbau ihres Produktes nötig ist. Es fallen somit die Behauptungen für einen Nachschub neuer Zellen, welche insbesondere nach den Angaben von Schwann, Hertz u. a. von „der Matrix des Schmelzorganes für die Schmelzzellen", dem Stratum intermedium herstammen sollen. (Siehe Tafel IX Fig. 121.) Das äussere Cylinderepithel und das Gallertgewebe verhalten sich somit bei der Schmelzentwicklung vollständig passiv. Dennoch haben sie eine gewisse Bedeutung bei der Zahnentwicklung selbst. Die schon im Eingang besprochene Umbildung der Pflasterepithelzellen, welche beim Hineinwuchern der Epithelscheide in das Kiefergewebe mit hineingezogen sind, ist histologisch höchst merkwürdig. Aus den rundlichen Zellen entstehen sternförmige Gebilde, deren Ausläufer miteinander in Verbindung stehen. Die Zwischenräume sind mit einer schleimig-albuminösen Flüssigkeit ausgefüllt. Die Meinungen der Autoren über die Bedeutung der Schmelzpulpa ist ebenfalls sehr verschieden. Nach Waldeyer haben die Zellen derselben nach ihrer Umbildung zur Sternform ihren Entwicklungsgang erfüllt. Waldeyer betrachtet von diesem Augenblick an die Zellen selbst passiv. Die Vermehrung der sternförmigen Zellen soll nach ihm immer vom Stratum intermedium ausgehen, welches sowohl nach dem Schmelzpulpagewebe als auch nach den Schmelzzellen Bildungsmaterial abgibt. Wenn das erstere vollständig ausgebildet sei, werde die ganze Thätigkeit des Stratum intermedium den Schmelz-

zellen zugewendet. Hertz hält dagegen die Umwandlung der ursprünglichen Zellen des Stratum Malpighii für einen aktiven Prozess, eine Ansicht, welcher sich Kollmann anschloss. Hertz sah die Zellen des Stratum intermedium vor Ausbildung der Schmelzpulpa in lebhafter Wucherung begriffen und Kollmann findet darin den Beweis, dass das rete Malpighii ein selbständiges Wachstum während einer begrenzten embryonalen Periode unzweifelhaft besitzt. Spätere Autoren haben im wesentlichen nichts neues über die Bedeutung der Schmelzpulpa gebracht, sondern sich einer der beiden geschilderten Ansichten angeschlossen. Aus diesen beiden Beobachtungen entsprangen notwendiger Weise zwei verschiedene Ansichten über die Bedeutung der Schmelzpulpa. Waldeyer hält dieselbe nur für eine transitorische Form, in dem die Gallerte gewissermassen den Platz für den wachsenden Zahn offenhält. Nach ihm atrophiert das epitheliale Gallertgewebe und das Stratum intermedium, bevor die Schmelzbildung vollendet ist. Bei im Durchbruch begriffenen Zähnen liegt dann äusseres Epithel mit einem geringen Rest des Stratum intermedium hart an den eigentlichen Schmelzzellen. Sowie der Zahn durchbricht, verhornt nach Waldeyer das äussere Epithel und bildet das später zu besprechende Schmelzoberhäutchen. Hertz dagegen erkennt in der Schmelzpulpa nicht allein eine Stütz- und Ernährungssubstanz, sondern die Vergrösserung der Schmelzpulpa geschieht nach ihm durch die Neubildung ihrer eigenen Zellen. Die Schmelzpulpa ist somit nach Hertz nunmehr thätig. Hertz will weder ein Schwinden noch ein Schrumpfen des Pulpagewebes gesehen haben, und auch Waldeyer bringe keine weiteren Erklärungen. Nach dem Bilde, welches ich auf Tafel I in Fig. 7 gebe, ist wohl kaum ein Zweifel möglich, dass die Schmelzpulpa atrophiert, sobald die Schmelzbildung einsetzt. Die älteren Autoren mussten infolge des angenommenen Conjugationsvorganges, welchen die Zellen des Stratum intermedium dementsprechend durchmachen mussten, eine Aktivität der letzteren annehmen.

Thatsächlich ist nach den neueren Forschungen über die Schmelzbildung eine solche Annahme durchaus nicht mehr nötig, und ich schliesse mich der Annahme Waldeyers an, dass die Schmelzpulpa rein passiv nur den Platz für das sich entwickelnde Schmelzgewebe sichern soll. Mir scheint ausserdem die dichte Lagerung der Zellen in der späteren Periode dafür zu sprechen, dass der Druck des Zahnscherbchens, welches durch den Pulpawulst gehoben wird, die Verdichtung des Stratum intermedium

bewirkt. Die Ernährung des Schmelzes muss allerdings während seiner Bildung durch die Schmelzpulpa erfolgen, und es spielen hier osmotische Vorgänge auf weite Strecken hin eine grosse Rolle, denn die Schmelzpulpa ist für alle Zeiten gefässlos. Nur wenn Resorptionsvorgänge, wie sie kurz vor dem Durchbruch des Zahnes in der Nähe der atrophierenden Schmelzpulpa auftreten, gleichzeitig mit Gefässbildung einhergehen, kann man unter Umständen nach Durchbrechung des äusseren Cylinderepithels Gefässe in derselben vorfinden.

Viertes Kapitel.

Das Schmelzoberhäutchen.

Die Oberfläche soeben durchbrechender Zähne ist im Bereiche des Schmelzes mit einem dünnen Häutchen überzogen, welches nach dem Entdecker Nasmythsche Membran genannt wird. An der Kaufläche wird dasselbe im Laufe der Zeit mehr oder weniger abgenutzt, während es an den Seitenflächen der Zähne oft während des ganzen Lebens persistiert. Lässt man Säuren auf die Zähne einwirken, so hebt sich das Oberhäutchen von der Oberfläche in grösseren Abschnitten ab. Es ist durchscheinend, fast unzerstörbar selbst in konzentrierten Säuren, lockert sich in Kali causticum und entwickelt beim Verbrennen Horngeruch (Waldeyer). Nach Kölliker gibt es beim Kochen keinen Leim, durch Einwirkung von Salpetersäure wird es gelb. Nach der Ablösung durch Säuren erscheint das Schmelzhäutchen nahezu strukturlos, höchstens von feinkörnigem Bau. (Tafel III Fig. 40.)

Waldeyer und Ch. Tomes haben durch Einwirkung einer Höllensteinlösung ein netzförmiges Bild auf der unteren Fläche erzeugen können, als ob das Häutchen aus Epithelialzellen bestünde. Die innere Fläche zeigt häufig Eindrücke, herrührend von den Enden der Schmelzzellenprismen. Die Entstehungsweise des Schmelzoberhäutchens ist noch nicht ganz sicher festgestellt. John und Charles Tomes und auch Baume halten das Schmelzoberhäutchen für rudimentäres Cement. Diese Autoren glauben in Einsenkungen des Schmelzes besonders auf den Kauflächen der Backenzähne reichliche Cementkörperchen gefunden zu haben und lassen das Schmelzoberhäutchen somit aus dem Zahnfollikel entstehen, als Kronencement. Auch Mühlreiter (Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde, 1873) will Cement an den seitlichen oberen Schneidezähnen des Menschen in einer Schmelzfalte, welche an den Rückflächen derselben häufig vorkommt, beobachtet haben.

Hannover entdeckte das Stratum intermedium der Schmelzpulpa und hielt es für wahrscheinlich, dass das Schmelzoberhäut-

chen aus diesen über den Schmelzzellen liegenden Schmelzpulpazellen gebildet würde.

Waldeyer (Untersuchungen über die Entwicklung der Zähne) trat dieser Ansicht entgegen und meint, dass das Schmelzoberhäutchen, in Anbetracht des Vorkommens von Kronencement bei Wiederkäuern der letzte Rest des Stratum intermedium und der beiden Epithelien selbst sein müsse.

In Strickers Handbuch sagt Waldeyer später, dass das Schmelzoberhäutchen aus den verhornten Zellen des äusseren Epithels des Schmelzorganes entstünde. Kölliker aber erwähnt schon in seiner vierten Auflage seiner Gewebelehre, es bliebe nichts übrig als anzunehmen, dass nach beendeter Schmelzbildung die Schmelzzellen noch eine zusammenhängende Schicht als Bekleidung des Ganzen liefern.

v. Ebner schloss sich der Köllikerschen Meinung an und lässt das Schmelzoberhäutchen nach dem Aufhören der Prismenbildung dadurch entstehen, dass die Schmelzzellen an ihrer inneren Oberfläche gleichmässig cutikularisieren. Dann gehen die letzteren, soweit sie schmelzbildende Funktionen gehabt haben, vollständig zu Grunde. Im Köllikerschen Handbuch der Gewebelehre 1899 sagt von Ebner noch, dass das homogene Schmelzoberhäutchen „gewissermassen eine Fixierung eines Entwicklungszustandes darstellt, der während der Bildung der Schmelzprismen als Vorstadium der Differenzierung von Prismen und Kittsubstanz erscheint. Dem entsprechend ist, wie sich an jugendlichen, noch nicht völlig ausgebildeten Zähnen mit noch reichlicher Kittsubstanz beim Entkalken mit Säuren leicht nachweisen lässt, das Schmelzoberhäutchen überall im Zusammenhang mit der interprismatischen Kittsubstanz, welche Thatsache für sich allein — selbst ohne Kenntnis der Entwicklung — die Auffassung des Schmelzoberhäutchens als Kronencement unmöglich macht. Das Schmelzoberhäutchen ist daher wie bereits Kölliker als das naturgemässeste annahm, eine — wie der ganze Schmelz — von den Schmelzzellen abgeschiedene Cutikularbildung.“

Diese Anschauung bleibt vorläufig jedenfalls die annehmbarste, wenngleich sie nicht als absolut feststehend zu betrachten ist. Die von mir nachgewiesene Cortikalschicht und das Schmelzoberhäutchen können viel leichter noch als eine Gewebsart aufgefasst werden, denn wir finden weder eine optische noch eine chemische Differenzierung.

Fünftes Kapitel.

Das Zahnbein.

A. Allgemeine Eigenschaften.

Das Zahnbein (Substantia eburnea der alten Autoren) stellt die Hauptmasse, den Körper der Zähne dar und ist gleichsam eine Verkleinerung der äusseren Form desselben. Gebildet wird es durch die periphere Zelllage des Zahnbeinkeimes, den später noch näher zu beschreibenden Zahnbeinzellen (Odontoblasten). Das Dentin ist, wie Frey schon in seiner Histologie sehr treffend sagte, als ein modifiziertes Knochengewebe ohne Knochenzellen aufzufassen. Die Fortsätze der bildenden Zellen durchziehen das Zahnbein von der Schmelz- respektive Cementgrenze nach der Pulpa zu. In menschlichen Zähnen werden nur höchst selten Odontoblasten in normal produziertes Zahnbein eingeschlossen, während bei Tierzähnen dies unter Umständen in ziemlich starkem Masse statt hat, worauf noch bei der Entwicklung der Zahngewebe näher eingegangen werden muss.

Der Härtegrad des Dentins ist zwischen 5 und 6 der Mohsschen Skala gelegen, ist somit höher wie bei Knochengewebe. Eine Analyse von Berzelius ergab 28 % organische Substanz, 62 % basisch phosphorsauren Kalk und Magnesia mit Fluorcalcium. 1 % kohlensauren Kalk, 1,4 % kohlensaures Natron, etwa 8 % Wasser und Fett. Aehnliche Resultate erzielten andere Beobachter. Schulz (Correspondenzblatt für Zahnärzte 1898), welchem wir wohl die genauesten neueren Analysen verdanken, fand organische Substanz 35 % bei einem zweijährigen Kinde, bei einem dreissigjährigen Zahne 27 %. Die chemische Zusammensetzung des Zahnbeins ist jedenfalls mit der Individualität und dem Alter schwankend. Wir haben es hier im Gegensatz zu dem fertigen Schmelz mit einem lebenden Gewebe zu thun. Ausserdem kommen im Zahnbein der Kulturmenschen zahlreiche Bildungsfehler entsprechend derjenigen

des Schmelzes vor, welche vor allen Dingen in einer mangelhaften, unterbrochenen Ablagerung der Kalksalze bestehen.

Nach Extraktion der Kalksalze durch Säuren bleibt die organische Substanz in zusammenhängender Form als sogenannter Zahnknorpel zurück, welcher nach Hoppe-Seyler beim Kochen Leim gibt, während die Zahnscheiden und die Dentinkugeln kein Glutin liefern.

Wir finden im fertigen Zahnbein vier verschiedene Gewebsformen:

1. Zahnfasern (Fortsätze der ausserhalb liegenden Odontoblasten), auch Zahnbeinfasern genannt,

2. Zahnscheiden,

3. Intercellular- (Intertubular- oder Grundsubstanz). Letztere enthält die Kalksalze, welche an manchen Stellen mangelhaft eingelagert werden. Es entstehen dann sogenannte Interglobularräume, welche normaler Weise an der Grenze des Zahnbeins und Cements in der Wurzel als Interglobularschicht (Tomessche Körnerschicht) vorkommen.

Bei geringen Vergrösserungen sieht man im Zahnbein eine ungeheure Anzahl von Kanälchen, welche von der Pulpa nach der Dentinoberfläche verlaufen. Schon Leeuwenhock kannte sie. In der Krone ist ihre Richtung, in Längsschnitten betrachtet, radial zur Pulpa angeordnet; in der Wurzel liegen diese Dentinkanälchen nahezu parallel und horizontal. Jedoch ist ihr Verlauf nicht ganz geradlinig, sondern weist meist eine zweimalige Krümmung auf, welche schon Retzius, später Kollmann und v. Ebner treffend mit einer S förmigen Linie verglichen haben. Nach der Kaufläche zu ist dies Verhalten am deutlichsten ausgeprägt, und zwar ist die erste Konvexität dieser Linie nach der Wurzel, die zweite nach der Krone zu gelegen. Ausserdem zeigen die Dentinkanälchen, besonders bei Querschliffen, einen spiralförmigen Verlauf. Nur auf sehr dünnen Querschliffen erscheinen die Zahnbeinkanälchen kreisförmig. (Tafel III Fig. 41.) John und Charles Tomes teilten die Krümmungen der Dentinkanälchen in primäre und sekundäre ein. Die primären sind die grossen, welche besonders in der Krone vorkommen; als sekundäre bezeichnen diese Autoren die spiralförmigen, welche besonders in der Wurzel vorhanden sind. Grosse Krümmungen kann man bis zu 5 in der Länge eines Kanälchens zählen, kleine dagegen circa 100 auf einen Millimeter (Retzius). Während Kölliker 2 bis 8 Teilungen eines Kanälchens beobachtet

hat, wird dies von verschiedenen Autoren bestritten. Es können durch homogene Krümmungen der Dentinkanälchen auch förmliche Linien entstehen, welche nach ihrem Entdecker Schregersche Contourlinien heissen. Sie verlaufen parallel der inneren Fläche des Zahnbeins. Man darf sie nicht mit den später zu besprechenden Linien verwechseln, welche durch reihenweise Anordnung der Interglobularräume hervorgebracht werden. (Owensche Linien.) Die Schregerschen Contourlinien im Zahnbein beruhen jedenfalls auf ähnlichen Druckerscheinungen wie diejenigen im Schmelze.

Jene schon bei der Erörterung der Linien im Schmelze erwähnte Arbeit Kollmanns über „Zahnbein, Schmelz und Cement" enthält eine Fülle von Thatsachen über die Krümmungen und Knickungen der Dentinkanälchen, welche hier nicht unberücksichtigt bleiben dürfen. Kollmann macht darauf aufmerksam, dass die im Zahnbein vorkommenden grossen Kurven der Kanälchen nur bei ganz geringen Vergrösserungen beobachtet werden dürfen. Beim Menschen fand er die zwei Wellenberge am stärksten in der Nähe der Pulpahöhle und an der äussersten Fläche, dazwischen liegt das langgezogene Wellenthal. Kollmann lässt von den grossen Biegungen den atlasartigen Glanz des Zahnbeins abhängen, indem durch das auffallende Licht abwechselnd die konkaven und konvexen Biegungen irisieren. Er stellte fest, dass die Kurven der Milchzähne weit schwächer sind als diejenigen der bleibenden, und dass bei diesen die Zahnbeinröhrchen viel stärkere Krümmungen in der Krone aufweisen. Kollmann, welcher zum ersten Male dabei deutlich ausspricht, dass die Papille den Zahn durch Druck weiter vorschiebt, wie es später Zuckerkandl, Wallisch und ich angenommen haben (siehe Einleitung), glaubt, dass die von der Papille geleistete Arbeit bei den Milchzähnen geringer ist als bei den Ersatzzähnen. Nach ihm entstehen diese Wellenlinien während der Entwicklung des Zahnes und während eines Druckes, der von innen nach aussen wirkte. Ich komme auf diese wichtigen Thatsachen noch bei der Betrachtung der Dentinschmelzgrenze und der Entwicklung des Zahnbeins zurück.

Ausser jenen grossen Krümmungen hat zuerst Retzius, dann Owen u. A. kleine Wellenlinien beschrieben, welche an jedem Dentinröhrchen in grösster Zahl vorhanden sind. Auf Querschnitten des Dentins sieht man aber deutlich, dass es sich um einen spiralförmigen Verlauf der Dentinkanälchen handelt, welcher zuerst von Welker nachgewiesen wurde. Eine wirkliche Erklärung ist für

diese Schraubenwindungen der Dentinkanälchen noch nicht gegeben. Kollmann glaubt, dass die Zahnfasern schneller wachsen, als die Ablagerung des Zahnbeins geschieht, und dass für die Entstehung der Spiralen die Annahme von Druckschwankungen nicht erforderlich sei. Ich glaube, dass die Spiralform so zu erklären ist, dass die Odontoblasten unter einem konstanten Druck stehen, welcher veranlasst, dass bei der beginnenden Verkalkung in der dentinogenen Substanz eine Stauchung des Dentinfortsatzes und damit eine Drehung derselben stattfindet. Teilungen der Kanälchen kommen jedenfalls mitten im Zahnbein nur äusserst selten vor, sie sind dann dichotomisch.

B. Feinerer Bau des Zahnbeins.

Die Zahnbeinkanälchen bestehen in trockenen Schliffen aus lufthaltigen Röhrchen, im frischen Zustande sind letztere durch die Zahnfasern vollständig ausgefüllt. Diese vermitteln im Leben Sensibilität und Stoffwechsel im harten Zahnbein und bilden die Fortsätze der später zu besprechenden Zahnbeinzellen. Die Zahnfasern werden in ihrem Verlaufe zur Zahnbeinschmelzgrenze immer dünner. Ihre Endigungen werden wir bei den Besprechungen der Grenzschichten der einzelnen Zahngewebe näher kennen lernen, ihr morphologisches Verhalten ist jedoch sogleich zu erörtern. Die Zahnbeinfasern stellen, selbst bei den höchsten Vergrösserungen betrachtet, im fertigen Zahnbein strukturlose Fäden dar. Man kann sie isolieren, wenn man frische Pulpen behutsam aus den aufgesprengten Zähnen herauszieht. Die Zahnfasern hängen dann fransenartig an der Pulpa und können, in Glycerin eingeschlossen, sehr schön untersucht werden. (Siehe Tafel IV Fig. 41.) Aus dieser Isolierbarkeit der Zahnfasern geht

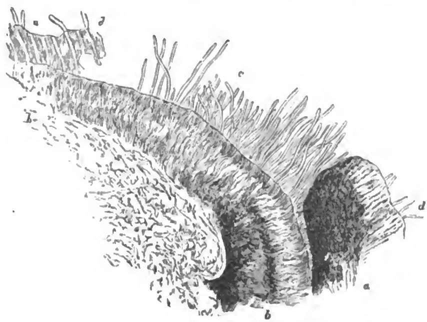


Fig. 49.
Isolierte Zahnfasern (Zahnfibrillen) nach John Tomes.
a Zahnbein; *b* Pulpa; *c* Zahnfasern.

jedenfalls hervor, dass die Ansicht von Wedl, Hertz u. A. eine irrige ist, wenn diese Autoren annehmen, dass die Zahnfasern einfach ein zähflüssiger Inhalt der ihn umgebenden Zahnscheiden wären. An einzelnen jungen Zahnfasern glaube ich beobachtet zu haben, dass sie Röhrenform haben. Aber wenn auch eine eigentliche Struktur der fertigen Zahnfasern bis jetzt noch nicht nachgewiesen werden kann, so viel steht fest, dass die Zahnfasern wirkliche Zellteile der zugehörigen Odontoblasten, also geformte histologische Elemente sind. Die Zahnfasern in der ersten Periode der Entwicklung haben sogar bei ihrer Isolation dieselbe deutliche Körnung des Protoplasmas, wie der zugehörige Zellleib der Odontoblasten. Sie entstehen ja auch aus letzterem. In früherer Zeit nahm man einen Cirkulationsvorgang von plasmatischer Flüssigkeit statt der Zahnfasern in den Dentinkanälchen an (Krukenberg). Neuerdings neigt Gysi dieser Ansicht wieder zu. Nach Lessing sollte die Pulpa sogar erektil sein, und dadurch der Cirkulation der Flüssigkeit Vorschub geleistet werden. Es ist das grosse Verdienst von John Tomes, (1859) nachgewiesen zu haben, dass der Inhalt der Dentinkanälchen — die soeben beschriebenen Zahnfasern — eine gewisse Konsistenz haben und wahrscheinlich die Fortsätze der Zahnbeinzellen wären. Die Zahnbeinfasern haben deshalb nach ihrem Entdecker auch auf Waldeyers Initiative hin den Namen Tomessche Fasern oder Fibrillen erhalten. Tomes machte schon auf das geringe optische Brechungsvermögen aufmerksam. Er glaubte, dass die Faser aus einer äusseren Hülle, in welcher eine halbflüssige Materie sich befindet, bestände. Ueber die Art und Weise der Endigung der Zahnbeinfibrillen sagte John Tomes nichts Bestimmtes. „Ob dieselben in der Pulpa mit Zellen endigen oder auf irgend einem Wege sogar mit Nerven zusammenhängen, das kann ich noch nicht entscheiden.“ Wir werden später sehen, dass es das Verdienst Waldeyers im wesentlichen ist, die Dentinfortsätze als Zellteile der peripheren Pulpazellen bestimmt zu haben. Die neuerdings ausgesprochene Ansicht Morgensterns, dass die Tomesschen Fasern in keinem Zusammenhange mit den Odontoblasten stünden, ist den histologischen Thatsachen gegenüber nicht aufrecht zu erhalten.

Untersucht man eine grössere Anzahl von Präparaten, in welchen die Zahnfasern isoliert sind, und stammen dieselben aus verschiedenen Altersperioden des Menschen, so fällt die verschiedene Stärke der Fasern auf. Je älter das Individuum ist, von

welchem ein Zahn stammt, um so dünner sind auch die aus dem Zahnbein herausgezogenen Zahnbeinfasern.

Man kann an trockenen Schliffen wahrnehmen, dass auch die Dentinkanälchen in den verschiedenen Altersperioden eine verschiedene Weite haben. Kölliker gibt die Weite der Dentinkanälchen auf 0,0013 bis 0,0022 mm an. In der Nähe der Pulpa liegt meist sehr wenig Grundsubstanz zwischen ihnen, besonders in jüngeren Zähnen ist an dieser Stelle das Lumen der Kanälchen sehr weit. Ursprünglich glaubte man allgemein, für die verschiedene Weite eine Wirkung von Säuren als Ursache annehmen zu müssen. Nur John Tomes hielt eine einfache Ausscheidung von Kalksalzen in den Kanälchen für möglich. Ich habe dann nachgewiesen, dass der ganze Vorgang physiologischer, also vitaler Natur sei, bedingt durch einen das Dentin und damit auch das Pulpagewebe treffenden äusseren Reiz. Der Prozess kann soweit fortschreiten, dass das Zahnbein ein nahezu homogenes Gewebe wird. Der Seidenglanz desselben verschwindet, und es entsteht durchsichtiges, sogenanntes transparentes Zahnbein. Die starke Verringerung im Durchmesser der Zahnfasern ist wohl kaum anders zu erklären, als dass die peripheren Schichten derselben in Zahnscheidensubstanz und die Zahnscheiden allmählich wieder in verkalkte Grundsubstanz umgewandelt werden. Hierauf komme ich noch zurück.

Eine weitere Konsolidierung des Zahnbeins im späteren Alter lässt sich aber noch anderweitig sehr leicht konstatieren. Besonders in jüngeren Zähnen sieht man, dass die Dentinkanälchen eine grosse Menge von Seitenzweigen in ihrem Verlaufe abgeben, die teilweise unter sich, teilweise mit denjenigen der neben liegenden Kanälchen anastomosieren können. Die Endigungen der Zahnbeinfasern in den Kronen erfolgen meist gabelförmig, jedoch zeigen sich schon hier öfters feine Abzweigungen von den beiden Hauptästen des Dentinkanälchens. (Tafel IV Fig. 46 und 47.) In Wurzeln jedoch sind die Seitenzweige in der Nähe der Grenzschicht des Dentins am zahlreichsten, sodass sie ein förmliches Netzwerk bilden. Oefters laufen hier von einem Punkte eine ganze Anzahl von Zweigen aus, und am Ausgangspunkte dieser Verzweigungen erscheint dann eine kleine Varikosität des Hauptkanälchens. (Tafel IV Fig. 48.) Diese fortschreitende Consolidierung des Zahnbeins nach seiner Bildung schreitet in der Wurzel viel langsamer fort als in den Kronen. Später verschwindet dies Netzwerk von Seitenzweigen der Dentinkanälchen ganz, wiederum

ein Beweis, dass ein physiologischer Vorgang in oben angedeuteter Form vorliegt.

Damit kommen wir zur Erörterung der den Zahnbeinfasern unmittelbar anliegenden Gewebsteile. Solange sich die mikroskopische Forschung mit der Histologie der Zähne beschäftigt, ist die Frage der Entstehung und der Struktur der vitalen Elemente im Zahnbein nicht ausser Fluss gekommen. Von Purkinje an haben sich nahezu sämmtliche Odontologen mit den Dentinkanälchen und ihrem Inhalte beschäftigt, und es sind gewiss wohl alle Möglichkeiten des Baues erwogen. Zu einem abschliessenden Urteil ist man jedoch bis auf den heutigen Tag nicht gekommen. Ganz besonders sind es die Wandungen der Kanälchen, welche in der verschiedensten Weise gedeutet wurden. Dieser Punkt wurde allmählich einer der vielumstrittenen im Gebiete der Histologie der Zähne.

Ein kurzer Auszug aus der Litteratur erscheint hier notwendig, um an ihm zu zeigen, wie verschiedenartig die Meinungen der Autoren bisher gewesen sind. Die ersten Beobachter, z. B. Fränkel, Retzius, Czermak sahen deutlich, dass Zahnbein in Querschliffen Kanäle zeigt, welche von „ziemlich dicken etwas dunklen und gelblichen Ringen um die Lumina der Röhrchen umgeben sind." Diese Ringe wurden für die Wandungen der Kanälchen erklärt.

Kölliker und Henle erhoben dagegen den Einwand, dass „der gebogene Verlauf der Kanäle eine viel grössere Dicke gibt, als sie wirklich besitzen." Bald lernte man die Zahnröhrchen durch mechanische und chemische Mittel zu isolieren, und John Tomes fand gerade dabei, dass die Kanälchen nicht etwa eine Flüssigkeit enthielten, sondern dass in denselben die vorhin beschriebenen weichen Fibrillen lägen. Aehnliches hatten übrigens auch Kölliker und Lent gesehen. Der letztgenannte Autor glaubte, „dass die Membranen der von den Pulpazellen peripherisch aus wachsenden Fortsätze zu den Wandungen der Zahnröhrchen werden, während die Grundsubstanz zwischen denselben ausgeschieden wird". Da erschien 1863 eine Monographie von Neumann, welcher sich eingehend mit der Struktur der Zahnbeinfibrillen oder Zahnfasern, wie sie Kölliker alsbald genannt hatte, beschäftigte. Neumann erwähnt schon, dass John Tomes den Zahnröhrchen eigene Wandungen zuschriebe, ohne sich jedoch darüber auszusprechen, ob das, was Müller und Henle mechanisch, Kölliker auf chemischem Wege aus dem Zahnbein isolierten,

wirklich der Wandung oder etwa den von Tomes als Inhalt der Röhrchen beschriebenen Fibrillen entspräche.

Kölliker näherte sich nun in einer weiteren Arbeit der Tomesschen Anschauung, leugnete jedoch die Existenz einer eignen isolierbaren Wandung der Zahnröhrchen, sondern sah die letzteren für einfache Lücken in der Grundsubstanz an. Kölliker erklärte die Isolationsprodukte als Inhalt der Zahnröhrchen und nicht mehr wie früher als isolierte verkalkte Wandungen derselben.

Die Arbeit Neumanns modifizierte die damaligen Anschauungen wesentlich. Derselbe fasst seine Resultate in folgenden drei Sätzen zusammen: 1) Die Zahnröhrchen besitzen eigne, isolierbare, mit der Zwischensubstanz des Zahnbeins gemeinsam verkalkte Wandungen. 2) In den Zahnröhrchen sind faserartige unverkalkte Fortsätze der peripherischen Pulpazellen enthalten (Zahnfasern). 3) Die isolierbaren verkalkten Wandungen der Zahnröhrchen sind nicht die mit der Grundsubstanz verschmolzenen, verkalkten Membranen der in ihnen enthaltenen Zellenfortsätze, sondern verdichtete Teile der verkalkten Grundsubstanz selbst, analog den Kapselbildungen (Zahnscheiden). Längere Zeit waren diese Sätze für die Histologie des Zahnbeins absolut massgebend. Neumanns Resultate beruhten im wesentlichen auf der chemischen Behandlung von Zahnbein und der Untersuchung der erhaltenen Isolationsprodukte. Die optische Differenzierung der Zahnröhrchenwände gegen die Zwischensubstanz gelang ihm nicht. Die sehr bald nach der Veröffentlichung Neumanns entstehende Controverse zwischen Kölliker und Waldeyer über die Entstehung der Zwischensubstanz liess die Bedeutung der Zahnscheiden in den Vordergrund treten. Während man bisher nur die Struktur des fertigen Zahnbeins berücksichtigt hatte, wurden nun auch die Entwicklungsvorgänge mit in Betracht gezogen. Waldeyer erläuterte seine Umwandlungstheorie im Strickerschen Handbuch der Gewebelehre folgendermassen: „Während immerfort die peripherischen Teile der Odontoblasten sich in leimgebende Substanz unter nachfolgender Verkalkung der letzteren, umwandeln und ihre Formen schwinden, bleibt ihr centraler Teil als mehr oder minder langer Faden in der erhärteten Masse stecken und stellt die erste Anlage einer Zahnfaser dar. Jede Zahnfaser muss mit ihren Anastomosen als ein Rudiment mehrerer zusammenhängender Odontoblasten angesehen werden. Die zunächst um die Fasern liegenden Schichten der Grundsubstanz wandeln sich, wie nach dem chemischen Verhalten anzu-

nehmen ist, in elastische Masse um und bilden die Neumannschen Zahnscheiden. Ob auch sie verkalken, dürfte wohl kaum zu entscheiden sein.“ Dieser Umwandlungstheorie Waldeyers standen lange Zeit Hertz und Kölliker mit der Secretionstheorie gegenüber. Hertz sah Zahnfasern und Zahnscheiden als ein Gebilde an und behauptete, dass die Zahnfasern direkt aus den Dentinzellen entstünden. Die Neumannschen Zahnscheiden seien nur die festere Aussenschicht der weichen Zahnfasern, eine Ansicht, welche auch Wedl später teilte. Die Zahnbeinkanälchen sind nach Hertz somit wandungslose Lücken der Intercellularsubstanz, welche aus der chemisch umgewandelten und verkalkten Grundsubstanz der Pulpazellen hervorgegangen ist. Kölliker wurde dagegen, nachdem Neumann die Existenz eigner Wandungen der Zahnbeinkanälchen festgestellt hatte, der Verfechter der reinen Ausscheidung der Zwischensubstanz seitens der Zahnfasern. Kölliker hatte beobachtet, dass die Odontoblasten ganz dicht ohne Einfügung irgend welcher Zwischensubstanz aneinander liegen und eine solche erst zwischen den wachsenden Fortsätzen der Zellen auftritt. Kölliker leugnete auch jede Art von Fasern oder Röhrchen in der Zwischensubstanz und schloss aus diesen Gründen auf eine von allen Elfenbeinzellen gemeinsam gebildete Ausscheidung. In Bezug auf die Zahnscheiden näherte sich Kölliker nun in der vierten Auflage seiner Gewebelehre der Waldeyerschen Auffassung und betrachtete sie als später erfolgende Erhärtung der die Zahnfasern zunächst umgebenden Grundsubstanz, während er noch in der dritten Auflage seines Werkes jede Wandung der Zahnbeinkanälchen abstritt. Sämmtliche folgenden Autoren haben sich mehr oder weniger der einen oder anderen Meinung angeschlossen, und es fand nun vom Jahre [illegible] ab nur ein weiterer Ausbau der einzelnen Theorien statt, ohne dass es zu einer Einigung gekommen wäre.

[illegible] z. B. entschied sich für die Ausscheidungstheorie, weil sich die jüngst gebildete Zahnbeingrundsubstanz [illegible] nur schwach färbte, dagegen die Odontoblasten sammt ihren [illegible] Zahnfasern sich intensiv tingieren liessen. [illegible] scharf [illegible] des Zellprotoplasmas [illegible] Dentin- [illegible] Typus der [illegible] dass sie scharf [illegible] zukäme.

während andere Formen embryonaler Natur seien, im übrigen vertritt er die Anschauungen Waldeyers. Köllikers Ansicht fand dagegen wieder einen energischen Vertreter in Wenzel. Ganz besonders untersuchte dieser Autor die Zähne der Nager. In der Beschreibung der Dentinzellen tritt Wenzel im wesentlichen Waldeyer und Boll bei und leugnet eine Zwischensubstanz zwischen den ausgebildeten Dentinzellen, wie sie Hertz annahm. Wenzel erklärte die Zahnscheiden für unverkalkte, in elastisches Gewebe umgewandelte Grundsubstanz und begründete seine Ansicht damit, dass die Zahnscheiden erst mit der Verkalkung der Grundsubstanz allmählich sichtbar werden, und dass bei Isolierung von grossen Zahnscheiden z. B. bei Pferdezähnen dieselben scharfen Contouren vorhanden sind wie bei elastischen Fasern. Wenige Jahre später traten Hohl und ebenfalls Baume für die Hypothese ein, dass die Verknöcherung durch Ausscheidung von Kalksalzen seitens der Pulpa vor sich gehe. Nach Baume erfolgt dieselbe in der Weise, dass die in einer proteinhaltigen Flüssigkeit gelösten Kalksalze sich in Form von Kügelchen (Globularmassen) ablagern. In seinen „Bemerkungen über die Entwicklung und den Bau des Säugethierzahnes“ (Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1875 S. 268) schildert er die Zahnscheiden folgendermassen. „Den Angaben der früheren Autoren über die Zahnscheiden muss ich noch ein neues, ganz besonders auffälliges Faktum hinzufügen. Bekanntlich ist die Zahnscheide im Längsschnitt gar nicht, im Querschnitt ziemlich schwierig zu erkennen. Der geübte Beobachter sieht die Zahnscheide immer, wenn er eine geeignete Beleuchtung wählt“. Baume beschreibt dann die Anwendung des Sciopticons. Mit Hilfe dieses Instrumentes sah er folgendes: „Es fielen mir vor allen Dingen bei dieser ausserordentlichen Vergrösserung eigentümliche Strukturelemente, welche eine deutliche sechseckige Begrenzung zeigten, auf. Ich erkannte diese Sechsecke sogleich als die äusseren Contouren der Zahnscheiden, welche hier ganz deutlich für jeden sofort erkennbar waren. Ich muss aber offen bekennen, dass ich nach meinen bisherigen Untersuchungen die Zahnscheiden für rundlich, nicht aber für so deutlich sechseckig gehalten hätte, wie diese die beigegebene Figur darstellt. In

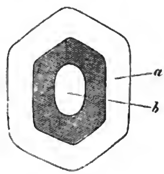


Fig. 50.
Dentinkanälchen im Querschnitt; *a* sechseckige Zahnscheide; *b* Dentinkanälchen von einem dunklen Ringe umgeben (nach Baume).

dieser Figur sehen wir bei *a* die sechseckige Zahnscheide bei sehr starker Vergrösserung, wie man sie durch das Sciopticon erhält, abgebildet; bei *b* ist das Kanälchen, welches von einem dunklen Ringe umgeben erscheint. Der dunkle Ring ist durch die in Kanälchen enthaltene Luft, welche mikroskopisch so dunkle Contouren zeigt, bedingt. Zwischen den Zahnscheiden ist deutlich die auch noch bei dieser Vergrösserung homogen erscheinende Grundsubstanz zu erkennen." (Siehe Fig. 50 aus Baumes Abhandlung entnommen.)

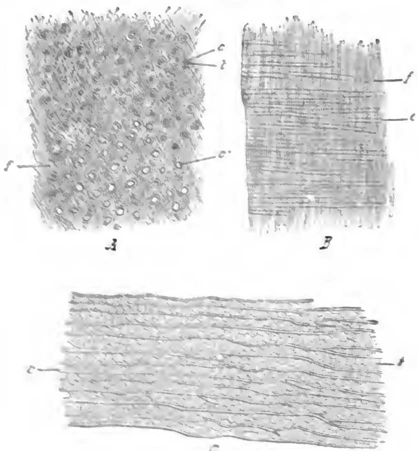


Fig. 51.

Fibrillen des Zahnbeins nach v. Ebner. Schnitte von in 15 % NaCl und 5 % HCl entkalktem Zahnbeine des Menschen. Starke Vergrösserung. *A* Tangentialer, *B* radialer Längsschnitt. *C* Querschnitt. Fibrillen in *C* zugleich Querschnitte der Bündel derselben; *c* Zahnkanälchen in *A*, dieselben oben mit den Querschnitten der Tomesschen Fasern *t*, unten (*c*) ohne dieselben.

Ich habe diese Baumesche Schilderung der Zahnscheiden in extenso hier wiedergegeben, weil sie bis in die neueste Zeit die ausführlichste war, und auch bald die herrschende wurde. Sie entstand zu einer Zeit, wo man noch nicht berücksichtigte, dass nur das Auflösungsvermögen unserer mikroskopischen Objektive, nicht die Vergrösserung an sich in Betracht kommt.

In die Lehre der Formierung der Zahnbeingrundsubstanz brachte dann eine ausgezeichnete Arbeit v. Ebners Licht.

Im Handbuche der Zahnheilkunde von Scheff beschrieb von Ebner die faserige Struktur derselben, und auf Grund dieser Untersuchungen konnte man an eine einfache formlose Ausscheidung der Zwischensubstanz seitens der Zahnpulpa nicht mehr denken. v. Ebner fand, dass feinste nach ihm benannte Bindegewebs-Fibrillen, die in Bündeln vereint sich durchkreuzen, welche haupt-

sächlich in Ebenen liegen, die senkrecht auf der Verlaufsrichtung der Zahnbeinkanälchen stehen. Auf diese Fibrillen und ihre Bedeutung komme ich noch weiter unten bei der Erörterung der Zwischensubstanz zurück.

Von den Zahnscheiden spricht dieser Autor leider wenig und sagt nur, dass diese besonderen Wandungen der Zahnbeinkanälchen sich an dünnen Querschliffen der letzteren, wenn auch nicht immer, wahrnehmen lassen.

Im Anfange der neunziger Jahre veröffentlichte ich eine Reihe von Aufsätzen über die Lebenserscheinungen im fertigen Zahnbein, und konnte auf Grund von Mikrophotogrammen Formenveränderungen der Zahnfasern nachweisen, welche offenbar auf vitaler Grundlage beruhten. Bei der Transparenz des Zahnbeins, welche ich als Produkt einer physiologischen Thätigkeit der Zahnfasern erkannte, indem von letzteren normales Zahnbein auf Kosten ihrer eignen Grösse produziert wird, erschienen ganz andere mikroskopische Bilder. Tafel III Fig. 43 ist bei geringerer Vergrösserung eine Zone solches „transparenten“ Dentins *t* abgebildet, welche durch normales Zahnbein *d* zieht. Bei hoher Vergrösserung von normalem (Tafel IV Fig. 44) und transparentem (Tafel IV Fig. 45) Zahnbein, dessen Zahnfasern mit Carmin gefärbt sind, treten bedeutende Unterschiede hervor. Im normalen Zahnbein erscheint die Zahnfaser immer noch rundlich und verhältnissmässig viel dicker als beim transparenten Dentin. Auf Querschnitten des letzteren bildet die Zahnfaser aber keinen Kreis mehr, sondern sie wird zu einem dreieckigen oder viereckigen Gebilde mit konkaven Seiten. Ihr Durchmesser verringert sich dabei um ein mehrfaches. An diesen neuen objektiven Bildern der veränderten Zahnfasern konnte nichts gedeutet werden, was zu histologischen Zweifeln Veranlassung geben konnte.

Der helle grosse Kreis um die Zahnfasern, welcher von jeher, wie sich schon aus der obigen geschichtlichen Skizze entnehmen lässt, ein Streitpunkt in der Auslegung seiner Bedeutung war, war auch für mich zunächst die Zahnscheide, deren Existenz chemisch ja unzweifelhaft fest stand. Im Jahre 1893 brach ich jedoch mit der alten Anschauung, nachdem Untersuchungen an entkalkten Schnitten mir ergeben hatten, dass John Tomes in seinem System der Zahnheilkunde einem Irrtum unterlag, und sagte Folgendes: „Die vom Rande eines entkalkten und zerrissenen Zahnbeinschnittes hervorragenden Fäden sind nämlich zunächst die Zahnscheiden und nicht die eigentlichen Zahnbeinfasern oder Fibrillen,

wie sie John Tomes genannt und auch als solche abgebildet hat. Erst die aus den isolierten Zahnscheiden zuweilen wieder hervortretenden blassen Fäden sind die sogenannten Tomesschen Fibrillen oder Zahnbeinfasern." (Siehe meine Arbeit: „Ueber die Bedeutung des vitalen Prinzipes im Zahnbein" (Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1893 Heft 9).

Noch deutlicher habe ich 1895 in meinem mikrophotographischen Atlas der normalen Histologie menschlicher Zähne die Isolationsprodukte präcisiert, welche man bei Einwirkung von Säuren auf das Zahnbein erhält. Ich gab direkt zu der Erklärung der Fig. 57 an, dass die Zahnscheiden durch die Säuren isoliert würden. Ich meine, damit wäre der alte Streit in Bezug auf das chemische

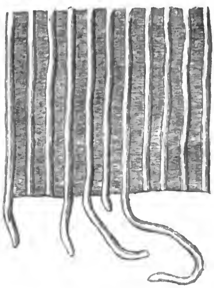


Fig. 52
nach John Tomes, welcher die hervorragenden Stücke für Fibrillen (Zahnfasern) hielt. Es sind das die Zahnscheiden.

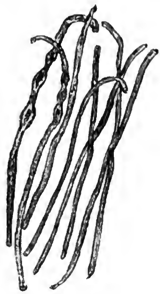


Fig. 53.
Durch Säure isolierte Zahnscheiden.

Verhalten des Zahnbeins und speziell der Zahnfasern und Zahnscheiden erledigt gewesen. Neuerdings (1899) hat nun Römer in einer Arbeit über „die Köllikerschen Zahnbeinröhrchen und Tomesschen Zahnfasern" in Bezug auf die Isolierung der Dentinelemente genau dieselben Resultate wie ich erhalten. Der Autor hat meine Arbeit, wie es scheint, gar nicht gekannt, obgleich der Atlas der normalen Histologie menschlicher Zähne als kritisches Bild der bisherigen Forschungen auf dem Gebiete der Zahnhistologie gelten konnte. Ich muss hier jedoch ausdrücklich meine Priorität der Erklärung der Isolationsprodukte des Zahnbeins als eines wichtigen histologischen Faktums mir wahren.

Römer stellte folgende Grundsätze als Resultate seiner Arbeit auf, welche ich der Uebersicht halber hier unverkürzt wiederhole:

1. Die von Tomes 1856 beschriebenen und abgebildeten Fibrillen sind keine neuen Gebilde, sondern völlig identisch mit den von Kölliker 1854 beschriebenen Zahnbeinröhrchen, indem die Tomessche Fibrillenmembran der Köllikerschen Röhrenwand bezw. Neumannschen Scheide und der von Tomes als halbflüssig beschriebene Fibrilleninhalt dem von den früheren Autoren als flüssig bezeichneten Inhalt der Röhrchen entspricht.

2. Die von Tomes angenommenen Zahnbeinröhrchen (Dentinal tubes) entsprechen nicht den Köllikerschen Zahnbeinröhrchen, sondern sind künstlich durch Entkalkung und Auflösung verengte wandungslose röhrenförmige Hohlräume in der Zahnbeingrundsubstanz, aus der sich die Köllikerschen Röhrchen bezw. Tomesschen Fasern leicht isolieren lassen.

3. Die als „Zahnfasern" oder Tomesschen Fasern bezeichneten Odontoblastenfortsätze sind nicht der Inhalt der Köllikerschen Zahnbeinröhrchen, sondern stellen Scheide und Inhalt zusammen dar. Es muss daher der Begriff der „Zahnfasern" oder „Tomesschen Faser" als Inhalt der Köllikerschen Röhrchen fallen gelassen werden, und wir müssen uns vorläufig mit der ursprünglichen Annahme begnügen, dass der Inhalt der Zahnbeinröhrchen eine flüssige oder halbflüssige Materie bezw. noch nicht genügend erforscht sei.

Der zuerst angeführte Satz wurde durch Isolierung der Elementarteile des Zahnbeins gewonnen, und Römer kommt, wie schon gesagt, zur nämlichen Erklärung der Isolationsprodukte wie ich. Nur in der subjektiven Auffassung der gewonnenen Bilder besteht eine Differenz, welche allerdings für die Erklärung des Bildungsvorganges von höchster Bedeutung ist. Römer rechnet die gegen chemische Agentien so äusserst widerstandsfähige Röhre, welche man als Neumannsche Scheide bezeichnet, streng zur Zahnfaser, während ich dieselbe als eine Zwischenstufe zur Zwischensubstanz — als Produkt der Umbildung des Dentinfortsatzes — ansehe.

Gegen die Ansicht Römers spricht zunächst die von mir schon früher beschriebene Verkleinerung des Lumens der Dentinkanälchen mit zunehmendem Alter, welche nur auf vitaler Ursache beruhen kann. Der Vorgang entspricht ganz und gar dem Altern einer Zelle überhaupt. Wir sehen, wie allmählich das Protoplasma des Zellleibes der Odontoblasten zu Gunsten der Vermehrung des Metaplasmas und der Zahnbeinzwischensubstanz verschwindet. Die

Dentinfortsätze nehmen dementsprechend einen viel kleineren, polygonalen Raum ein, so dass es zu einem nahezu vollständigen Verschluss der Dentinkanälchen kommen kann. Das Zahnbein ist alsdann in der Durchsicht auch in trockenen Schliffen nahezu homogen oder „transparent", wie der Ausdruck für diesen Zustand schon lange lautet. Wir sehen das vor allen an den Wurzeln älterer Zähne, aber auch z. B. in der Umgebung einer cariösen Stelle. Hier ist es der Ausdruck der vitalen Reaktion der Odontoblasten auf einen gesetzten Reiz, einer gesteigerten Bildungsthätigkeit, welche in weit kürzerer Zeit als beim normalen Altern der Zahnbeinzellen jenen Zustand erzeugt. Die meisten Autoren haben sich, wenn sie überhaupt einen vitalen Vorgang annahmen, vorgestellt, dass das Zahnbein mehr Kalksalze aufnähme. So fasst z. B. M. J. Bennett (Correspondenzblatt für Zahnärzte 1895) die Ansicht über die Transparenzzone bei Caries in der Frage zusammen: „Entsteht die Transparenz infolge von erhöhter Verkalkung des Dentins oder nicht?" Bennett sagt in dem Vortrage, dass er im transparenten Zahnbein teilweise erweiterte und verdickte Dentinröhrchen vorgefunden hätte. Derartiges wird keiner behaupten, welcher je transparentes Zahnbein in vitalen Zähnen näher untersucht hat. Der Autor hat offenbar das Entstehen von transparentem Zahnbein an eingesetzten natürlichen Zähnen, wie sie früher für den Zahnersatz verwendet wurden, mit dem transparenten Zahnbein in lebenden Zähnen verwechselt. Hätte Bennett beide Arten transparenten Zahnbeins regelrecht gefärbt, so würde er grosse Unterschiede gefunden haben. Transparentes Zahnbein, durch Säuren erzeugt, wie es auch an eingesetzten Zähnen zuweilen vorkommt, ist infolge der extrahierten Kalksalze stark färbbar. In solchem Zahnbein sind einzelne Dentinkanälchen verdickt. Transparentes Zahnbein, durch vitale Thätigkeit der Odontoblasten erzeugt, ist weit schwerer als normales Zahnbein zu färben. Miller versuchte durch Analysen einen Aufschluss darüber zu ermöglichen, ob im transparenten Zahnbein diese stärkere Verkalkung auftrete. Die Resultate waren jedoch negativ.

Nicht vermehrte Kalkablagerung findet, wie sie schon John Tomes annahm, bei der Entstehung des transparenten Dentins in lebenden Zähnen statt, sondern eine Vermehrung der Zwischensubstanz, welche jedoch keinen morphologischen Unterschied von der ursprünglichen zeigt. Die von Miller neuerdings (Correspondenzblatt für Zahnärzte 18[illegible]) gegen

Bennett angeführte verschiedene Färbbarkeit des transparenten Dentins habe ich schon in ausführlicher Weise gegen Baume nachgewiesen. Endlich wäre noch ein Aufsatz von Biró in der österreich-ungarischen Vierteljahrsschrift für Zahnheilkunde 1898 zu erwähnen, in welchem dieser Autor gegen die Ansicht, dass transparentes Zahnbein das Produkt einer vitalen Thätigkeit sei, sich ausspricht. Biró wendet sich zunächst gegen Röse, welcher meinte, dass die Zahnfasern durch die andrängenden chemischen und parasitären Schädlichkeiten in einen Zustand der Entzündung gerieten und unter körnigem Zerfalle langsam abstürben. Von einer Entzündung ist, wie Biró richtig sagt, bei der Bildung des transparenten Dentins keine Rede, wohl aber von dem Auftreten eines formativen Reizes, welcher die Zahnfasern trifft. Biró bestreitet nun allerdings auch, dass die Zahnfasern infolge lebhafteren Stoffwechsels Zahnbein bilden könnten. Das Dentingewebe könne nur von Odontoblasten gebildet werden, und eine Kalkablagerung nur dort stattfinden, wo die Ernährung herabgesetzt wird! Biró vergisst, dass die Zahnfasern Teile der Odontoblasten sind, sein zweiter Schlusssatz spricht sowohl gegen die Zahnbeinbildung, als auch gegen die allgemeine Physiologie. Ich möchte im Gegenteil behaupten, dass Zahnbein gerade dann nicht mehr gebildet wird, wenn die Ernährung herabgesetzt wird, und verweise auf die diesbezügliche Darstellung der Zahnbeinentwicklung. Biró kommt zum Schluss wieder zu dem Resultat, dass die von den Bakterien secernierte Säure als Bahnbrecher im Gewebe vordringt und, indem sie den Brechungsexponenten der Medien ausgleicht, das Phänomen des Durchscheinens hervorruft. Hätte Biró einmal mit Säuren behandeltes und das in Frage stehende transparente Dentin gesehen, so würde er sich auch hier von dem Irrtum der Gleichheit dieser Transparenz haben überzeugen können.

Nach Lage der Dinge ist die fortschreitende Umbildung der Dentinfortsätze in Zwischensubstanz nicht mehr zu leugnen, und dieser Vorgang spricht meines Erachtens sehr gegen die Römersche Theorie. Aber auch die Vorgänge der Zahnbeinbildung sind mit derselben kaum zu vereinbaren, indessen kann ich auf die Grössen- und Formveränderungen der Odontoblasten erst bei dem Kapitel der Entwicklung der Zahnbeinzwischensubstanz eingehen.

Ich bemerkte schon vorher, dass Wenzel eine allmähliche Ausbildung der Zahnscheiden erst bei beginnender Verkalkung des

Dentins annahm. Er schloss dies wahrscheinlich aus dem Umstande, dass man im unverkalkten Dentin noch nicht die beiden feinen parallelen Linien sieht, wie sie im spätern Stadium um das Dentinkanälchen herum auf einem Längsschliff gelegentlich auftreten. Das ist allerdings noch kein besonderer Beweis für das Vorhandensein von besonderen Röhrenwandungen. Wir haben nämlich zwei optische Medien von verschiedenen Brechungsexponenten und dann sind Diffractionssäume bekanntlich sehr häufig. Wohl aber sind in dem verkalkten Dentin die Zahnscheiden färbbar, während in der dentinogenen Substanz eine Differenzierung durch Farbstoffe für Zahnscheiden bisher nicht gelungen ist. Dies ist einerseits ein deutlicher Beweis dafür, dass die Zahnscheiden ein späteres Produkt der Zahnfasern sind, und dass andererseits die späteren Zahnscheiden ein anderes Gewebe mit besonderen chemischen Eigenschaften als wie die verkalkte Zwischensubstanz ist.



Fig. [illegible]

Färbung der Zahnfasern und Zahnscheiden nach [illegible] mittelst Hämatoxylin-Eosin. In der dentinogenen Substanz erscheinen die Dentinfasern (Zahnfasern) rot und zwar [illegible] am äusseren Rande. Im darunterliegenden verkalkten Zahnbein erscheinen die Neumannschen Zahnscheiden als blaue Ränder der roten Zahnfasern.

Die Differenzierung durch Färbbarkeit der Zahnscheiden wurde zunächst von Röse durch die Mummerysche Eisenpigmentmethode, später von [illegible] durch Färbungen mit Hämatoxylin-Eosin bewerkstelligt. Ich kann an zahlreichen Präparaten die Resultate dieser Autoren durchaus bestätigen und habe besonders eine genaue Differenzierung der Zahnscheiden an Präparaten erhalten, welche lange in Chromosmiumessigsäure gelegen haben. Um diese Neumannschen Zahnscheiden ganz distinkt zu färben, [illegible] die [illegible] Methode der Fibrillenfärbung. Mit ihrer Hilfe ist die Existenz der Zahnscheiden [illegible] mit [illegible], welche grosse Dentinkanälchen [illegible], sind [illegible].

[illegible]

pher um die präformierten Zahnfasern entstehen. Diese Anschauung wird bedeutend gestützt durch die Isolationsprodukte. Wiederholte Nachprüfungen haben nun ergeben, dass die von mir zuerst aufgestellte Behauptung, die Tomesschen Fibrillen, welche bei der Zerreissung von entkalktem Zahnbein oder bei der vollständigen Isolation mit Säuren entstehen, seien Zahnscheide und Zahnfaser, richtig ist. Dieselben Resultate erhält man auch, wenn durch starke Maceration und wiederholtes Trocknen jede Spur von Protoplasma, welches doch jedenfalls den Dentinfortsatz bildet, unfehlbar zerstört sein muss.

Andererseits fand ich aber, dass die durch Herausziehen aus dem gewöhnlichen Zahnbein gewonnenen Fortsätze der Odontoblasten weit weniger widerstandsfähig gegen chemische Einflüsse, insbesondere aber gegen Eintrocknen sind, als die Isolationsprodukte der vorher erwähnten Art. Das ist nach meiner Anschauung leicht erklärlich. Die Dentinfortsätze der Odontoblasten werden durch Fäulniss oder sonstige alkalische Maceration ebenso schnell zerstört wie das übrige Pulpagewebe. Wenn man nun aber einerseits sieht, dass die stärkste Fäulniss auf die Röhrenwandungen im Dentin ohne Einfluss ist, ja dass man selbst aus fossilen Zähnen Röhren isolieren kann, — ich isolierte z. B. mit Leichtigkeit Röhren aus dem Dentin des Höhlenbären — so kann man den zweiten und dritten Satz Römers nicht als richtig anerkennen.

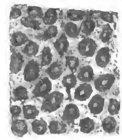


Fig. 60.
Zahnscheiden durch Fuchsin gefärbt nach Rupprechtscher Methode.

Der deutlichste Beweis aber gegen diese Sätze ist ein Versuch, welcher von mir wiederholt in folgender Weise angestellt wurde. Die Pulpa eines Zahnes, welcher für kurze Zeit in Müllerscher Flüssigkeit oder $^1/_2$ $^0/_0$iger Chromsäure gelegen hatte, wurde extrahiert, die Dentinfortsätze hingen in langen Fäden an derselben. Wurde nun ein Schliff angefertigt, so konnte man in demselben auch die Dentinröhrchen bei der Isolation mit Säuren bis zur Pulpa hin nachweisen. Wären nach Römers Ansicht die aus normalem Zahnbein herausgezogenen Dentinfortsätze, Neumannsche Scheiden nebst Inhalt, so dürfte eine solche spätere Isolation niemals gelingen. Diesen Versuch muss man übrigens mit älteren Zähnen machen. Ich erklärte schon vorhin, dass die Dentinröhrchen, die eigentlichen Zahnscheiden, eine spätere Bildung seien. Sie sind somit keine künstlich erzeugten wandungslosen Hohlräume in der Zahnbeingrundsubstanz, wie Römer

meint, sondern wirklich differenzierte Gebilde, welche, wie wir späterhin sehen werden, allerdings nur die Uebergangsform zur verkalkten Zahnbeingrundsubstanz darstellen. Mit dieser Anschauung stimmt auch die mehrfach beobachtete Thatsache überein, dass die Zahnscheiden nur in der verkalkten Grundsubstanz vorhanden sind, und dass nur in letzterer die Röhrchen längere Zeit dem Kochen mit Säuren widerstehen. Römer leugnet zwar auch dieses. Der direkte Versuch bei älteren Zähnen, bei welchen dentinogene Substanz• kaum vorhanden ist, und nach dem Herausziehen der Zahnfasern doch noch Scheiden vorhanden sind, bestätigt jedoch, dass Zahnscheiden und Zahnfasern besondere Elemente sind, abgesehen davon, dass denselben ein anderes Färbungsvermögen innewohnt. Die Zahnscheiden sind also nach meiner Auffassung das Produkt der vitalen Thätigkeit der Zahnfasern.

Es wäre noch einiges über die grosse Widerstandsfähigkeit der Neumannschen Zahnscheiden gegen chemische Reagentien zu bemerken. Dass dieselben längere Zeit selbst kaustischen Alkalien und konzentrierten Mineralsäuren widerstehen, ist schon von Neumann in seiner klassischen Arbeit ausgiebig geschildert. Immerhin finden bei der Isolierung der Zahnscheiden durch die Säuren nach meinen Beobachtungen eingreifende Veränderungen statt. Es tritt bei der Einwirkung von Säuren und besonders in getrockneten Schliffen eine bedeutende Schrumpfung etwa auf die Hälfte der Dicke bei den Zahnscheiden ein. Das Lumen der Dentinkanälchen, welche vorher mit Luft angefüllt waren, verschwindet vollständig, und die Zahnscheiden erscheinen nach vollständiger Isolation als strukturlose, blasse Fäden. Bevor diese Umwandlung sich jedoch vollzieht, sieht man in den mit Säure behandelten Zahnscheiden körnerförmige Gebilde, welche, perlschnurartig aneinander gereiht, etwa so aussehen, als wenn ein mit Wasser gefülltes Glasrohr zahlreiche Luftblasen enthält. Die Gebilde sind in der That teilweise noch in den Dentinkanälchen enthaltene Luft, teils Reste der eingetrockneten Zahnfasern. Fig. 53.

Diese Vorgänge bei der Einwirkung von Säuren auf Zahnbein zeigen, dass die Zahnscheiden ein sehr elastisches Gewebe sind.

Von dieser Elasticität der Zahnscheiden unterscheide ich streng diejenige der Zahnfasern als Fortsätze der Odontoblasten. Frisch extrahierte ältere Zähne, deren Pulpen noch so vorsichtig entfernt werden, zeigen niemals die langen Dentinfortsätze, wie wir

sie bei gehärteten Präparaten, welche jungen Zähnen entstammen, erhalten. Man kann, wie zuerst Waldeyer bemerkte, „namentlich bei jungen Zähnen die Elfenbeinzellen weit vom Dentin entfernen, ohne dass deren Fortsätze abreissen, die dann wie Harfensaiten angespannt erscheinen.“ Diese Elasticität der Zahnfasern ist wohl erst eine Folge der Gerinnung des Protoplasmas. Noch besser erhält man die Dentinfortsätze, wenn man vorher Chromsäure oder sonst ein Fixierungsmittel angewendet hat. In jugendlichen Zähnen gelingt das Experiment weit besser, weil der Dentinfortsatz noch nicht so stark mit der Zwischensubstanz durch die Zahnscheide verbunden ist wie in älteren Zähnen.

Die von Neumann schon behauptete und von späteren Autoren, u. A. auch von Römer bestätigte Thatsache, dass bei der Einwirkung von Säuren die Dentinröhrchen im verkalkten Zahnbein weit mehr Widerstand leisten als in der unverkalkten Zone, beweist schon allein, dass wir es mit zwei verschiedenen Geweben zu thun haben, welche morphologisch und chemisch von einander verschieden sind. Endlich deutet das von mir beobachtete Schrumpfen des Lumens der Dentinkanälchen bei Einwirkung von Säuren nach vollständiger Isolation darauf hin, dass die Wände (Zahnscheiden) schon eine gewisse Menge Kalksalze, wenn auch lange nicht soviel als die Intercellularsubstanz enthalten, und dass die Zahnscheiden aber auch dünnwandig und elastisch sein müssen.

Bei kurzer Einwirkung von Säuren auf Zahnbein verhält sich dasselbe ganz anders. Fig. 55, Tafel IV gibt davon ein deutliches Bild. Die Dentinkanälchen werden weiter, die erwähnten Seitenzweige derselben treten deutlich selbst in alten Zähnen wieder hervor, eine Thatsache, wie sie besonders Baume zuerst nachgewiesen hat. Die ganze Zahnbeingrundsubstanz steht offenbar nach Aufnahme der Kalksalze während der Entwicklung unter einer gewissen Spannung, von welcher die Zellbestandteile am meisten betroffen sind. Durch Einwirkung von Säuren wird die Kompression der letzteren aufgehoben, und wir finden dann eine ähnliche Anordnung wie vor der beginnenden Verkalkung der ersten Bildungsperiode des Zahnbeins.

Nach allen diesen Erörterungen scheint jener Schlusssatz der Neumannschen Arbeit über die Zahnscheiden noch heute festzustehen, welcher von diesem Autor folgendermassen aufgestellt wurde: „Die Zahnkanälchen sind nicht einfache Lücken in der verkalkten Zahnbeinsubstanz, sondern sie sind der Regel nach wenigstens von

einer gegen die Zwischensubstanz deutlich differenzierten, mit derselben jedoch gemeinsam verkalkten Wand umschlossen."

N e u m a n n bemerkt zum Schluss, dass ihm die o p t i s c h e Differenzierung der Zahnröhrenwände gegen die Zwischensubstanz nicht gelungen sei. Von späteren Autoren ist der Versuch vielfach aber stets mit negativem Resultate wiederholt. Das verschiedene Brechungsvermögen der Strukturelemente, die Windungen der Dentinkanälchen, das leichte Austrocknen des Inhalts derselben und die Dicke des Zahnschliffes erschwerten die Beobachtung im hohen Grade. So kamen dann zahlreiche Widersprüche zustande, welche im wesentlichen auf der Entstehung von Lichtbrechungserscheinungen beruhten.

Mit Hilfe der Mikrophotographie gewann ich das auf Tafel IV. in Fig. 56 wiedergegebene Bild des thatsächlichen Bestandes. Der Schliff wurde bis zur äusserst möglichen Feinheit so ausgeführt, dass die Dentinkanälchen wirklich im Querschnitt getroffen waren. Er stammte von einem frisch extrahierten Eckzahne und wurde mit den grössten Vorsichtsmassregeln angefertigt. Das Bild zeigt einerseits die wirklichen Verhältnisse, anderseits aber auch sämmtliche optischen Täuschungen, welche bei der Beobachtung durch unscharfe Einstellung auftreten. Bei *f* ist deutlich als Begrenzungsschicht der durchsichtigen (auf dem Bilde weissen) Zahnfasern ein etwas hellerer, beiderseitig jedoch d u n k l e r Ring zu erkennen, welcher auch g e g e n d i e Z w i s c h e n s u b s t a n z s i c h g a n z d e u t l i c h a b h e b t. Dieser Ring ist meines Erachtens die o p t i s c h differenzierte Zahnscheide. Der Durchmesser desselben ist etwa $^1/_2$—1 μ, aber immerhin noch deutlich erkennbar. Dass hier keine Diffraktionserscheinung vorliegt, ersieht man daraus, dass dieser Ring bei der niemals absolut zu erreichenden centralen Beleuchtung dennoch ununterbrochen erscheint.

Eine optische Täuschung ist dagegen schon bei der unschärferen Einstellung des Kanälchens bei *m* zu sehen, wo ein heller Halbring das Dentinkanälchen umgibt. Je weiter nun die Unschärfe getrieben wird, um so grösser werden scheinbar die dunklen Dentinkanälchen, und um so stärker auch die hellen Ringe infolge von Interferenzerscheinungen, welche früher fälschlich für Zahnscheiden angesehen wurden. Die ganz verschiedenartigen Bilder, welche Jahrzehnte der Gegenstand eifrigster Diskussion waren, beruhen ähnlich, wie ich es beim Schmelz für die vermeintliche dunkle Zwischensubstanz der Prismen nachgewiesen habe, auf einer verschiedenen Aberration der Randstrahlen.

Durch die Mikrophotographie ist das in deutlichster Weise klar zu legen. Ich habe auf Tafel IV in den Figuren 57 bis 60 einen Querschliff des Zahnbeins in viermaliger verschiedener Einstellung (je $^1/_{100}$ mm Focusdifferenz) abgebildet. Ein einfacher Vergleich dieser Bilder lehrt die Entstehung aller jener optischen Trugbilder. Nach obigen Ausführungen erscheinen mir die Zahnscheiden als differenzierte Gebilde sowohl chemisch wie optisch festgelegt.

Die Seitenzweige der Dentinkanälchen sind ebenfalls noch ein strittiger Punkt in der Histologie des Zahnbeins. Ich schilderte schon vorher, dass dieselben in älteren Zähnen dem Auge besonders in der Krone unsichtbar werden, während sie im jüngeren Zahnbein in grösster Anzahl vorkommen. Aeltere Autoren nahmen an, dass die seitlichen Fortsätze der Odontoblasten, auf welche wir noch bei der Entwicklung des Zahnbeins zurückkommen werden, in den Seitenzweigen der Dentinkanälchen münden.

Gegen diese Ansicht wandte sich Röse in seinem Aufsatze zur Histologie der Zahnpulpa. Der Autor fand an nach Golgi behandelten Schliffen, dass der Zahnknorpel, soweit er noch nicht verkalkt ist, sich intensiv schwarz färbe, ebenso wie die Röhrchen und die Interglobularräume. An der Verkalkungsgrenze hängen die Zahnbeinröhrchen durch dicke, quere Verbindungsstränge mit einander zusammen. Nach der Peripherie werden die letzteren dünner bis zur gewöhnlichen Dicke der queren Ausläuferchen. Röse schliesst nun aus diesen Beobachtungen, dass die Seitenkanälchen weiter nichts seien, als bei dem Verkalkungsprozesse ausgesparte Teile der knorpeligen Grundsubstanz. „Das letzte chemisch eigenartig umgewandelte Ueberbleibsel der früheren homogenen Grundsubstanz des Zahnbeins sind die Neumannschen Scheiden.“ Ich glaube, dass diese an sich unzweifelhafte Beobachtung Röses von ihm nicht ganz richtig interpretiert wird. Nach allen bisherigen Erfahrungen kann man mit Sicherheit annehmen, dass auch die Seitenzweige, welche ja nichts Anderes sind wie die Endverzweigungen der Dentinfasern, organisiertes Zellprotoplasma enthalten. Und diese feinste, wie die Aeste und Zweige eines Baumes sich verteilende Zellsubstanz, welche unmittelbar unter dem Einfluss der ihr zugehörigen Zelle in Bezug auf Lebensthätigkeit steht, verhält sich genau so wie der grosse Dentinfortsatz.

Was von der Hauptfaser in ihrer Umwandlung unter Vermittlung der Zahnscheiden zu verkalkter Grundsubstanz gesagt ist,

gilt meines Erachtens auch von den seitlichen Fortsätzen derselben. Nur spielen sich die Vorgänge viel schneller ab, weil die seitlichen Fortsätze der Hauptfaser viel zarter sind als letztere. Bei ganz jungem Zahnbein sind dieselben am deutlichsten. Allmählich wandeln sie sich in derselben Weise wie die Hauptfaser zum grössten Teil in normales Zahnbein um. Die Zähne eines erwachsenen Menschen zeigen in der Krone höchstens nur noch andeutungsweise die seitlichen Fortsätze, während diese in der Wurzel, welche viel später entwickelt wird, noch lange deutlich ein weitverzweigtes Kanalsystem bilden. In späteren Jahren kommt es vor, dass auch in der Wurzel die Kanälchen scheinbar verschwinden, sie sind nur mit starken Vergrösserungen dann erkennbar. Im total transparenten Dentin sind sie scheinbar ganz verschwunden, hier hat die Umwandlung in normales Zahnbein den höchsten Grad erreicht. Ich sagte absichtlich „scheinbar", denn in Wirklichkeit müssen die seitlichen Fortsätze auch im transparenten Zahnbein noch erhalten sein. Die Einwirkung von verdünnten Säuren lässt das ganze Kanalsystem wieder deutlich hervortreten. (Tafel IV, Fig. 55.) Die seitlichen Fortsätze sind also ihrer Hauptfaser in der Umbildung zu normalem Zahnbein immer um ein gewisses Stadium voraus, im Uebrigen verhalten sie sich genau so wie letztere.

C. Die Intercellularsubstanz des Zahnbeins.

Bei geringeren Vergrösserungen erscheint die zwischen den Dentinkanälchen liegende Grundsubstanz vollkommen strukturlos. Die Anschauung über den feineren Bau derselben wurde erst vor einem Jahrzehnt durch v. Ebner wesentlich umgestaltet. Wenngleich schon J. Tomes behauptet hatte, dass die Grundsubstanz ein körniges Aussehen zeige, so wurde durch v. Ebner mit Sicherheit festgestellt, dass die organische Grundsubstanz aus vielen feinen Fibrillen zusammengesetzt ist. (Siehe Fig. 51.) Sie sind nach seiner Angabe etwa 0,5 μ dick und zu Bündeln von etwa 2 μ Durchmesser vereinigt. Der Verlauf der Bündel ist der Längsrichtung des Zahnes entsprechend, sie kreuzen sich vielfach in Ebenen, welche senkrecht auf der Verlaufsrichtung der Zahnbeinkanälchen stehen. In der Krone sind diese Erscheinungen deutlicher wie in der Wurzel. Diese wichtige Entdeckung v. Ebners hat Gebhardt (Archiv für Entwicklungsmechanik 1900) in einem ausgezeichneten Aufsatze „Ueber den funktionellen Bau einiger Zähne" bedeutend erweitert. Einerseits sind es nach Gebhardt reine Wachstums-

vorgänge, anderseits aber wirkliche funktionelle Anpassungswirkungen, welche den Bau der Zähne veranlassen. Alle Fibrillen v. Ebners liegen nach Gebhardt mit ihrer Längsrichtung in konzentrischen Flächenscharen angeordnet, deren Verlaufsrichtung von Zeit zu Zeit durch die Contourlinie angedeutet ist. Ausserdem bilden sich die Fibrillen während ihrer Entstehung unter dem Einfluss der an ihrem Bildungsort ausserhalb von Zellen vorhandenen mechanischen Einrichtungen, auch gleich in bestimmten Richtungen verlaufend aus. Die von Gebhardt ausgeführten Untersuchungen erstreckten sich im wesentlichen auf Tierzähne. Es wird eine Aufgabe der Zukunft sein, diese Untersuchungen, welche zumeist mit Hilfe des polarisierten Lichtes ausgeführt werden, auch auf menschliche Zähne auszudehnen. Es ist anzunehmen, dass wir hierdurch noch viele Aufschlüsse speziell auch über die Entstehung der Form menschlicher Zähne erhalten werden.

Die Lage der v. Ebnerschen Fibrillen fasst dieser Autor sehr treffend im folgenden Satze selbst zusammen: „Hält man daran fest, dass die Grundsubstanz aus sich durchkreuzenden Lagen von Fibrillenbündeln besteht, so kann man sich das Zahnbein aus Lamellen aufgebaut denken, die, vielfach übereinandergeschichtet, senkrecht zu den Zahnbeinkanälchen verlaufen. Die Lamellen sind während der Entwicklung des Zahnes der jeweiligen Pulpaoberfläche parallel." Im Längsschnitt sind die v. Ebnerschen Fibrillen dunkel contourierte Fasern, im Querschnitt stellen sie etwas hellere Kreise in der Grundsubstanz dar. In älteren Zähnen verschwindet die Fibrillenstruktur des Zahnbeins vollständig.

Die einzelnen Phasen der Entwicklung des Zahnbeins zeigen sich in der organischen Grundsubstanz häufig sehr deutlich, insbesonders wenn die Verkalkung des Zahnbeins eine mangelhafte ist. Aehnlich wie im Schmelz Linien des Retzius sieht man in der organischen Grundsubstanz Streifenbildungen, welche zwar weniger ausgebildet sind als jene, aber doch immerhin deutlich die einzelnen Stadien der Zahnbeinbildung zeigen. Ich glaube sogar annehmen zu dürfen, dass beide Arten von Streifenbildungen auf gemeinsamer Grundlage beruhen, nämlich in einer plötzlichen Störung der Entwicklung des betreffenden Zahngewebes. Gewisse Linien im Zahnbein heissen nach ihrem Entdecker Schregersche Linien und sind, wie im Eingange schon erwähnt war, häufig durch Biegungen der Zahnkanälchen bedingt. Sehr häufig ist aber an diesen Biegungen noch eine mangelhafte Kalkablagerung zu konstatieren, worauf ich sogleich zurückkomme.

In Bezug auf die Verkalkung der organischen Grundsubstanz des Zahnbeins kann man im allgemeinen annehmen, dass die Einlagerung der Kalksalze in Kugelform geschieht. Die Zwischenräume zwischen den Kugeln werden bei der normalen Bildung wiederum sofort mit Kalksalzen ausgefüllt. (Siehe Tafel V Fig. 62.) So entsteht im allgemeinen dichtes, gleichartiges Zahnbein. Wenn aber die Kalkablagerung nicht in genügender Menge erfolgt, so zeigen sich auch im fertigen Gewebe mehr oder minder grosse Kugeln, bestehend aus Kalksalzen, welche grosse zackige Zwischenräume aufweisen. Diese Zwischenräume sind zurückgebliebene Reste der unverkalkten primären Grundsubstanz des Zahnbeins. Letztere ist sehr widerstandsfähig gegen Säuren, aber empfindlich gegen das Eintrocknen. (Siehe Tafel V Fig. 63.) Von dem Entdecker Czermák wurden dieselben Interglobularräume genannt. Interglobularräume sind von der verschiedensten Ausdehnung und unregelmässigsten Gestalt. An der Grenze zwischen Zahnbein und Cement bilden sie normaler Weise die Tomessche Körnerschicht. (Siehe Tafel V Fig. 72.) Dieselbe besteht aus sehr kleinen Globularmassen, in welchen sich zahlreiche Endigungen der Dentinkanälchen hinziehen. Ich komme bei der Betrachtung der Grenzschicht näher darauf zurück. Bedeutend grösser finden sich die Interglobularkugeln und Räume in den Zahnkronen, entsprechend den Stadien einer mangelhaften Verkalkung ähnlich wie die Linien des Retzius im Schmelze. (Siehe Tafel V Fig. 63 und 69.) Beide Strukturanomalien treten in den menschlichen Zähnen häufig und meist immer gleichzeitig auf. Die stehengebliebene, sogenannte dentinogene Substanz, aus welcher auch diese Interglobularräume im frischen Zustande (siehe Tafel V Fig. 64) bestehen, enthält die Dentinkanälchen, ohne dass eine Abnormität derselben zu konstatieren wäre. Ein Interglobularraum ist oft so gross, dass eine grosse Anzahl von Dentinkanälchen denselben durchziehen. Ausserdem sieht man noch die Globularkugeln nahezu normaler Weise an der Dentinpulpagrenze. (Siehe Tafel V Fig. 62). Das Zahnbein befindet sich hier auf der früheren Entwicklungsstufe, welche Wedl als Drusenformation bezeichnet hat. Derartiges Zahnbein kann jedoch noch später homogen erscheinen, indem die Zwischenräume zwischen den Globularkugeln wiederum durch Kalksalze ausgefüllt werden. Man beobachtet auch in späterer Zeit im fertigen Zahnbein häufig nur zarte Ringe, welche den früheren Zustand der Kugelformation andeuten.

Die Interglobularräume gaben in früherer Zeit häufig Veranlassung zur Verwechslung mit Knochenkörperchen, und zwar infolge ihrer sehr unregelmässigen, gezackten Form. Sie haben, wie Hoppe-Seyler nachgewiesen hat, eine sehr grosse Widerstandsfähigkeit gegen Säuren und Kochen, eine Eigenschaft, welche die dentinogene Substanz als erste Anlage des Zahnbeins im hohen Grade besitzt, worauf wir noch speziell bei der Entwicklung des Zahnbeins ganz besonders eingehen müssen. Wenn die Interglobularräume in zahlreicher Weise im Zahnbein auftreten, so bilden sie, bei geringerer Vergrösserung betrachtet, Linien, welche man als Contourlinien des Zahnbeins (Owensche Linien) bezeichnet. Diese Linien stellen dann den jeweiligen Zustand der Zahnbeinoberfläche bei der Entwicklung dar. Plötzlich trat dabei eine mangelhafte Verkalkung der ursprünglichen und vorgebildeten dentinogenen Substanz auf. Sie beschränkt sich indessen fast immer auf die Kronen der Zähne. Nur in höchst seltenen Fällen gehen diese Contourlinien bis zur Wurzelspitze. Den eklatantesten Fall der Art, welcher wohl bisher bekannt ist, beschrieb ich 1885 in der deutschen Monatsschrift für Zahnheilkunde. Die betreffenden Zähne, obgleich mehr in das Gebiet der Anomalien gehörend, sind aber in Bezug auf die Deutung des Aufbaues der Zahnbeinzwischensubstanz so instruktiv, dass ich das Wichtigste hier anführen will. Ich gebe in Fig. 65 die Zähne wieder und bemerke, dass die Rückseiten und die Berührungsflächen Anomalien zeigen, wie die Frontfläche. Die Zähne sind mit einem Schmelz bekleidet, der mit vollstem Rechte auf die Bezeichnung „welliger Schmelz“ Anspruch machen kann. Starke Riefen, deren Tiefe bis $^5/_{10}$ mm beträgt, sind in regelmässigen Abständen rings um die Krone eingegraben; es sieht fast aus, als wenn sie mit einer Feile hineingeschnitten seien. Während sie bei sämtlichen übrigen Zähnen im oberen Drittteil der Kronen anfangen, sind die oberen kleinen Schneidezähne bis zur Schneide gefurcht. Welliger Schmelz ist an sich keine grosse Merkwürdigkeit, obgleich eine solche Regelmässigkeit von so sehr tiefen Einsenkungen über die ganze Krone bisher niemals beschrieben ist. Aeusserst interessant ist es aber, dass das Cement in seiner ganzen Ausdehnung dieselbe Wellenform zeigt wie der Schmelz. Bis zur Wurzelspitze bildet

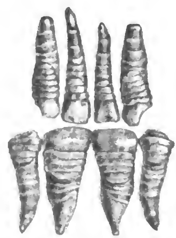


Fig. 65.
Welliger Schmelz und welliges Cement an den Schneidezähnen eines circa 60jährigen Mannes.

dasselbe deutliche Ringe um die Wurzel, zwischen denen Einsenkungen liegen. Wir haben also „welliges Cement“ vor uns, welches bis jetzt noch nicht bekannt war. Die Höhe der Cementhügel beträgt etwa $^{2}/_{10}$ bis $^{3}/_{10}$ mm.

Während der äussere Charakter der vorliegenden Zähne also sehr abweichend vom normalen ist, erscheint die Struktur derselben noch viel differenter. Ein Längsschnitt durch den linken oberen Schneidezahn geführt, zeigt zunächst die Begrenzungslinie als eine zickzackförmige. (Siehe Fig. 66.) Sie entspricht den Wellenhügeln und -thälern des Schmelzes und des Cementes. Die periphere Begrenzungslinie des Dentins hingegen verläuft normal. Der Schmelz ist sehr mangelhaft angelegt. Auf seine Bedeutung komme ich nach der Beschreibung des weit interessanteren Zahnbeins zurück. Die Cementhügel sind fast strukturlos, nur in einzelnen sieht man ein Knochenkörperchen. Schon mit blossem Auge kann man einen ganz abnormen Bau des Dentins erkennen. Von der Kronenspitze laufen ziemlich parallel dem Schmelzrande in der Aufsicht weisse Linien, und zwar von der Pulpahöhle aus zur Dentinoberfläche. Der Winkel, welchen die korrespondierenden Linien beider Hälften bilden, ist in der Krone spitzer, als in der Mitte der Wurzel, wird aber an der Wurzelspitze wieder weiter. Die „Linien“, wie sie K o l l m a n n nennt, sind die C o n t o u r l i n i e n O w e n s. Sie sind jedesmal auf die Einsenkungen im Schmelze respektive Cemente gerichtet. Sie finden sich in diesen Zähnen bis zur Wurzelspitze. Nahe der letzteren sind sie gebogen und laufen zuletzt der äusseren Form der Wurzel parallel. Makroskopisch kann man auf jeder Seite des Schliffes zehn Contourlinien zählen. Die Breite derselben schwankt zwischen $^{1}/_{2}$ bis $^{1}/_{5}$ mm. Fig. 66 zeigt diese Verhältnisse genauer.



Fig. 66. Contourlinien des Dentins in natürlicher Grösse.

Es ist hier notwendig, kurz die Ansichten früherer Autoren über die schon erwähnten Contourlinien zu rekapitulieren, weil durch die vorliegenden Zähne vieles widerlegt, vieles aber bestätigt wurde, was bis jetzt über Linienbildung geschrieben ist.

C z e r m á k gibt in seinen Beiträgen zur mikroskopischen Anatomie der menschlichen Zähne (1850) an, dass die regelmässige Streifung gleich ist den Jahresringen im Holze, als A u s d r u c k e i n e r s c h i c h t e n w e i s e n A b l a g e r u n g. „Sie stimmt genau mit der Krümmung der Lagen überein, in welchen die Zahnsubstanz abgesetzt wird. Man erkennt an diesen Stellen entweder Inter-

globularräume, oder die Zahnbeinkanälchen sind lokal erweitert oder wellenförmig gebogen."

Kollmann (Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie 1870) unterscheidet zwei Arten von Contourlinien. Die eine wird durch Interglobularräume hervorgebracht. Er glaubt aber nicht, dass sie genau den Ablagerungen des Dentins entsprechen, und hält die Abbildung, wie sie Czermák in Fig. 2 Tafel I gibt, für ein Unikum. Ausserdem beobachtete er eine sehr verschiedene Anordnung der Interglobularräume in den Zähnen des Menschen und der Tiere. Ferner führt Kollmann gegen die Meinung Czermáks an, dass Contourlinien nur in der Krone, nie in der Wurzel vorkommen. Auch fand er unzählige Interglobularräume in Tierzähnen, ohne dass dadurch eine Schichtung bedingt ist, z. B. beim Walross und Hippopotamus, und kommt zu dem Schlusse, dass Contourlinien, welche durch Interglobularräume hervorgerufen sind, meist zufällige Erscheinungen sind. — Die zweite Art von Contourlinien, die Kollmann kennt, ist diejenige, welche durch die veränderte Richtung ganzer Lagen von Dentinkanälchen hervorgerufen sind. Beim Menschen sind dieselben schwer aufzufinden, leicht dagegen beim Flusspferde, Hirscheber- und Elephantenstosszahn. Sie rühren von abwechselnd schief- und längsgetroffenen Zahnröhren her.

Baume trat in seinen odontologischen Forschungen im allgemeinen den Ansichten Czermáks gegen Kollmann bei. Obgleich nun der letztere die Contourlinien, welche durch Interglobularräume entstehen, nicht gerade negiert, wie Baume angibt, so entkräftete dieser die Kollmannschen Einwürfe bedeutend, insbesondere denjenigen, dass im Walrosszahne durch die unzähligen Interglobularräume keine Contourlinien hervorgebracht werden, durch folgenden Ausspruch: „Es ist dazu nötig, dass sich die Interglobularräume immer in einer Schicht wiederholen." In einem zweiten Aufsatze über „Zahnbein, Schmelz und Cement" (Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie, (XIII. Band) sagt Kollmann, dass Contourlinien auch durch grosse Kurven oder Knickungen, welche die Dentinkanälchen erleiden, entstehen. Man könnte Kollmann, wie Baume sagt, einen ähnlichen Vorwurf machen, nämlich, dass oft Zahnbeinkanälchen an vielen Stellen durch das ganze Zahnbein in starken Kurven verlaufen, ohne dass dadurch Contourlinien entstehen. Knickungen der Dentinkanälchen können allerdings förmliche Linien hervorrufen, welche wir schon lange als Schregersche Linien kennen.

Jedenfalls erkennen alle Autoren einzelne Interglobularräume, wie auch die durch die letzteren bedingten Contourlinien als ein Zeichen mangelhafter Verkalkung der Grundsubstanz an. — Vergleicht man nun die in den vorliegenden Zähnen befindlichen Contourlinien mit den eben angeführten Ansichten der Autoren, so müssen dieselben zunächst mit Czermák gegen Kollmann deutlich durch ihren ganzen Verlauf als Ausdruck schichtenweiser Ablagerung angesehen werden. Betrachtet man nämlich normal entwickelte Zähne und beobachtet die Begrenzungslinien, welche durch die jüngste Anbildung des Dentins entstanden sind, so entspricht ihr Verlauf genau demjenigen der vorliegenden Contourlinien. Untersucht man dieselben bei schwachen Vergrösserungen, so sieht man sie zum grössten Teil durch reihenweise Interglobularräume entstanden, welche an der Dentingrenze am grössten und zahlreichsten sind. Zum Teil sind die Contourlinien aber noch durch andere histologische Anomalien bedingt, worauf ich weiter unten zurückkomme.

Die Contourlinien in diesen Zähnen laufen ferner, im Gegensatze zu der Ansicht Kollmanns, in der ganzen Wurzel selbst bis zur Spitze. Weiter ist seine Behauptung, dass Interglobularräume nur zufällig Contourlinien bilden, mit dem Aussehen des Längsschliffes wohl nicht zu vereinbaren. Ausser den Interglobularräumen, welche die Contourlinien bilden, konnte ich kaum einen im ganzen Längsschliff entdecken. Es ist nicht einzusehen, weshalb bei den Erosionen des Schmelzes die Interglobularräume nur zufällig Linien bilden sollten. Wenn im Schmelze z. B. Linien ähnelnde abnorme Partien vorkommen, so kann doch mit Recht angenommen werden, dass das Zahnbein, welches darunter liegt, ebenfalls solche Strukturveränderungen zeigt, vorausgesetzt, dass auch hier noch eine unregelmässige Anbildung stattgefunden hat. Wenn man Schliffe von Erosionen, welligem Schmelze, sogenannten nekrotischen Zähnen und überhaupt von solchen mit Vitia primae formationis des Schmelzes behafteten Zähnen gemacht hat, so findet man in den meisten Fällen den Defekt im Schmelze durch entsprechende Contourlinien im Dentin gezeichnet. Die vorliegenden Zähne sind als die höchste Potenz solcher mangelhaften Struktur anzusehen. Es wechselt immer eine normale Schicht mit einer solchen von eminenter histologischer Abweichung ab. Dieses sind die Contourlinien, welche in ihrem Verlaufe den einzelnen Entwicklungsphasen des Zahnes entsprechen.

Es wurde durch die abgebildeten Zähne festgestellt:
dass die durch Interglobularräume entstandenen Contourlinien, welche in mangelhaft angelegten menschlichen Zähnen vorkommen, der Ausdruck schichtenweiser Ablagerung des Dentins sind. Sie kommen sowohl in der Krone, wie in der Wurzel vor, im letzteren Falle allerdings nur, wenn die Störungen bei der Entwicklung ganz erhebliche sind.

Verfolgt man die Contourlinien der Fig. 2 nach der Pulpa zu mikroskopisch, so sieht man allmählich die Interglobularräume kleiner werden, bis sie etwa in der Mitte der Linie ganz verschwinden. Damit sind die Contourlinien aber noch nicht zu Ende. Eine genaue Beobachtung der Fortsetzung zeigte mir, dass Contourlinien nicht allein durch Interglobularräume oder durch die veränderte Richtung ganzer Lagen von Dentinkanälchen hervorgebracht werden können.

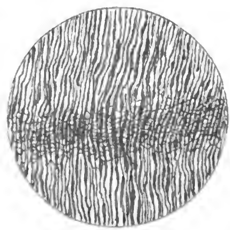


Fig. 68.
Contourlinie, hervorgerufen durch Seitenzweige der Dentinkanälchen.

Schon bei einer mittleren Vergrösserung sieht man, dass der innere Abschnitt der Contourlinien durch ein stark ausgebildetes System von Seitenzweigen der Dentinkanälchen erzeugt wurde. Fig. 68 gibt ein Bild davon. Jedes Kanälchen sendet abschnittsweise auf einer Strecke von etwa $^1/_5$ bis $^1/_8$ mm eine sehr grosse Anzahl von wohl ausgebildeten Seitenzweigen in die Intercellularsubstanz. Letztere bilden nicht selten Anastomosen mit denjenigen der Nachbarkanälchen. Bei der Untersuchung mit schwachen Vergrösserungen glaubte ich im ersten Augenblicke, dass die Begrenzungslinien von Globularkugeln das eigentümliche Bild einer Contourlinie hervorriefen, wurde indessen bald eines anderen belehrt. Die Dentinkanälchen waren an manchen Stellen um ein weniges erweitert, jedoch nicht immer, so dass nur die Seitenzweige die eigentliche Contourlinie bilden.

Nach dem mikroskopischen Bilde kann ich diese Art von Contourlinien nur als ein Zeichen von unvollständiger Ablagerung der Intercellularsubstanz seitens der Dentinfasern respektive ihrer Seitenkanälchen auffassen, und muss sie ebenfalls als einen Ausdruck schichtenweiser Ablagerung des Zahnbeingewebes erklären, denn sie

bilden nur einen Abschnitt der in diesen Zähnen vorhandenen Gesamtlinie. Dieser Uebergang von einer Contourlinie, welche durch Interglobularräume hervorgebracht ist, zum normalen Dentin, in welchem nur die Kanälchen sehr weit sind, liefert den Hauptbeweis, dass die Ablagerung des Dentins schichtenweise und dem normalen Bildungsgange entsprechend erfolgte.

Weit wichtiger als dies erscheint es mir aber, dass durch die vorliegenden Contourlinien wiederum bewiesen ist, dass im allgemeinen auch noch später neue Intercellularsubstanz von den Dentinfasern gebildet wird, wenn das Zahnbein vollständig fertig gebildet, also die organische Grundsubstanz normal verkalkt ist. In den vorliegenden Zähnen ist dasselbe nicht der Fall gewesen. Der Fortgang der Umbildung der Dentinfasern in Zahnscheiden und damit in Zwischensubstanz ist hier nicht weiter fortgeschritten. Ich gebe in Figur 69 den Abschnitt einer solchen Contourlinie bei starker Vergrösserung wieder.

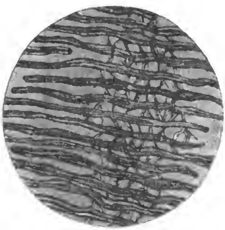


Fig. 69.
Die Contourlinie in Fig. 68 bei starker Vergrösserung.

In engstem Zusammenhange mit derartigen Contourlinien des Zahnbeins stehen die Linien im Schmelze und im Zahnbein jedesmal, sodass man wohl sagen kann, ohne die ersteren kommen die letzteren nicht vor. Schon bei der Erörterung der zahlreichen Linien des Retzius (Contourstriche Preiswerks) am Zahnhalse habe ich gesagt, dass dieselben immer zwischen zwei Schmelzwülstchen in die Furche an die Oberfläche des Schmelzes treten. Hier ist also eine Verkürzung der normalen Länge der Schmelzprismen bei ihrer Bildung eingetreten. In schweren Fällen, wenn die Kalkzufuhr längere Zeit eine geringe ist, zeigt sich rings um die Krone auch ein viel grösserer Defekt. Treten die Störungen absatzweise nur in gewissen Zeitzwischenräumen auf, so erhalten wir eine schichtweise Ablagerung von Schmelzprismen, welche die normale Länge besitzen und solchen, welche infolge mangelnder Kalksalze gekürzt sind. Was man makroskopisch beobachten kann, zeigt sich jedesmal mikroskopisch sehr deutlich.

Da das Zahnbein früher angelegt wird als der Schmelz, das Auftreten der Entwicklungsstörung in der gesamten Krone aber ein gleichzeitiges ist, so gehört der Ansatz einer Contourlinie an der Schmelzgrenze immer zu dem darüber liegenden Wellen-

thal. Der zeitliche Unterschied in der Bildung des Schmelzes und des Zahnbeines ist so gross, dass die Contourlinien des letzteren bei dem welligen Schmelz nahezu immer in der Höhe des Wellenberges an der Zahnbeingrenze ansetzen.

Bei den Backenzähnen gestalten sich die Dinge ganz ähnlich. Eigentliche Schmelzdefekte findet man bei ihnen bekanntlich nur an den ersten Molaren, seltener an den Weisheitszähnen. Auch hier kommen alle Formen von der Grübchenbildung bis zur nahezu schmelzlosen Krone vor. Bei den grossen Defekten der ersten Molaren finden sich insbesondere ganz ausgedehnte Contourlinien des Zahnbeins. Der Mangel an Kalksalzen ist im Schmelze dabei so gross, dass in einzelnen Furchen dieser Zähne eigentlich nur organische Substanz seitens der Schmelzprismen gebildet ist. Organische Substanz wird aber, soweit meine Beobachtungen reichen, in jedem Falle abgelagert. Dieser Umstand beweist, dass die Schmelzzellen auch bei den schwersten Defekten nicht allein vorhanden sind, sondern auch eine gewisse Thätigkeit entfalten, welche aber infolge des nahezu absoluten Mangels an zu verarbeitenden Kalksalzen nur eine geringe Grundsubstanz erzeugt.

Diese Betrachtungen zeigen den innigen Zusammenhang mangelhafter Verkalkung des Schmelzes und des Zahnbeins, welche sehr häufig im menschlichen Gebiss, insbesondere bei den civilisierten Rassen vorkommen. Diese Entwicklungsfehler der Zahngewebe sind, wie ich in der Deutschen Monatsschrift für Zahnheilkunde 1895 nachgewiesen habe, der Grund für das gewaltige Auftreten der Caries der Zähne in der neueren Zeit. Da dieselben so allgemein sind, mussten sie in die normale Histologie der Zähne mit hineingezogen werden, zumal sie so wichtige Aufschlüsse über die Beziehungen der Intercellularsubstanz des Zahnbeins und der Retziusschen Linien im Schmelze geben.

Endlich ist bei der Betrachtung der Zahnbeingrundsubstanz auf eine eigentümliche Streifung des Dentins einzugehen, auf welche zuerst Andresen aufmerksam gemacht hat. Der Autor sagt, dass sie nicht überall quer zu den Dentinkanälchen auftritt, sondern der Form der Pulpa auf früheren Entwicklungsstufen des Zahnes entspricht und darauf hindeutet, dass die Dentinbildung jedenfalls nicht in allen Stadien eine gleichmässige ist, sondern dass regelmässige Unterbrechungen stattfinden müssen. Die Streifung entstehe sicherlich nicht durch die v. Ebnerschen Fibrillen. Nach den Präparaten von Andresen und später von den meinigen glaube ich annehmen zu dürfen, dass diese Querstreifung des Den-

tins eine schichtweise Umbildung der Dentinfasern in dentinogene Substanz der Zahnscheiden ist. Bei hohen Vergrösserungen sieht man, dass an den dunklen Streifen die Dentinkanälchen weiter sind als in dem normalen hellen Zahnbein. (Siehe Tafel V Fig. 71.)



Fig. 70.
Querstreifung des Dentins nach Andresen.

Das Bild deutet darauf hin, dass absatzweise eine normale und unterbrochene Umwandlung der Zahnfasern in Intercellularsubstanz schon im frühen Bildungsstadium stattgefunden hat. Weitere Untersuchungen über diese eigentümliche Streifung des Zahnbeins werden in Zukunft erst entscheidend sein können.

Sechstes Kapitel.

Die Grenzschicht des Zahnbeins gegen Cement und Schmelz.

Im Gegensatz zu den übrigen Teilen des Zahnbeins, welches von den verhältnismässig einfach gebauten Dentinkanälchen in meist geradlinigen Zügen ohne sonderliche Abzweigungen durchzogen wird, zeigt die Grenzschicht eine Anzahl von komplizierten histologischen Eigenheiten. Je nach der vollständigen oder unvollständigen Entwicklung des Zahnbeins erhält man von derselben verschiedene Bilder. Zunächst fällt in den meisten Wurzelschliffen die an der Grenzlinie des Zahnbeins und des Cementes, selten auch des Schmelzes auftretende Körnerschicht (granular layer Tomes') auf. (Siehe Tafel V Fig. 72.) Sie wird durch winzige Globularmassen gebildet, deren Zwischenräume, welche aus Zahnbeingrundsubstanz bestehen, unverkalkt geblieben und in trocken gewordenen Schliffen deshalb lufthaltig geworden sind. In frischen Schliffen sind die Zwischenräume zwischen den Kugeln kaum zu erkennen. Ihre Formen treten nur bei trockenen Schliffen deutlich hervor. Will man aber den Verlauf der Zahnbeinkanälchen richtig beobachten, so muss man denselben Schliff zunächst frisch, dann trocken beobachten. Diese sogenannten Interglobularräume an der Grenze des Zahnbeins gleichen in Bezug auf Form genau denjenigen, welche inmitten des Zahnbeins bei mangelhaft verkalkten Zähnen vorkommen. Nur sind die Grössenverhältnisse bedeutend reduziert, und deshalb durchdringt gewöhnlich nur ein Zahnbeinkanälchen einen solchen Raum. Der Ausdruck „Körnerschicht“ passt eigentlich also nicht,

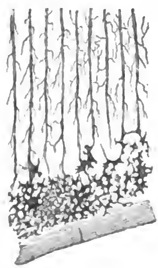


Fig. 73.
Cement und Zahnbeingrenze mit Tomes scher Körnerschicht.

wenn man stärkere Vergrösserungen anwendet, gerade so wenig wie Interglobularräume. Letztere wurden besonders in früheren Zeiten an der Zahnbeingrenze mit Knochenkörperchen verwechselt, sind aber in der That keine wirklichen histologischen Elemente, sondern unverkalkte Grundsubstanz zwischen den verkalkten Globulis. Ihre Grösse ist naturgemäss ziemlich winzig. Die erste Anlage des Zahnbeins mit einer schnell folgenden Verkalkung lässt eine Entwicklung der Körnerschicht zu grösseren Kugeln, wie es bei einer langsamen Verkalkung der späteren Schichten die Regel ist, nicht zu. Infolge dieser später erfolgenden gänzlichen Verkalkung ist das Vorkommen der Körnerschicht wenigstens in gut ausgebildeten Zähnen durchaus nicht konstant, sie ist eigentlich nur als ein Fortbestehen der ersten Entwicklungsstufen des verkalkenden Dentins zu betrachten. Anderseits verschwindet die Körnerschicht in den Kronen der menschlichen Zähne oft schon während der Entwicklung des Schmelzes durch einen eigentümlichen Vorgang, auf den ich weiter unten zurückkomme. In Tierzähnen findet man dagegen auch in den Kronen diese Tomessche Körnerschicht sehr häufig.

Weit mehr muss das Verhalten der Zahnbeinkanälchen in der Grenzschicht interessieren, insbesondere aber die Endigungen derselben. Der histologische Befund ist hierbei durchaus nicht gleich. Normaler Weise laufen die Dentinkanälchen, indem sie von der Pulpa aus immer zarter werden, teilweise in höchst feine Spitzen aus. Nicht selten teilt sich aber der Hauptstamm eines Dentinkanälchens in der Nähe der Grenzschicht in mehrere Hauptzweige, von denen wieder eine Unzahl feinster Seitenzweige abgehen. Das Ganze sieht dann baumartig aus. (Siehe Tafel IV Fig. 48.) Eine derartige Anordnung findet man allerdings fast nur in den Wurzeln der menschlichen Zähne. Meistens herrscht in der Zahnkrone bei einer Teilung die einfache Gabelung des Kanälchens vor. (Siehe Tafel IV Fig. 46 und 47.) Dringen die Kanälchen ganz bis zur Schmelzgrenze vor, so erleiden sie sowohl, als auch ihre etwaigen Seitenzweige im allgemeinen eine seitliche Umbiegung, welche so stark sein kann, dass die Spitze des Kanälchens nach rückwärts zeigt. Anastomosen mit nebenliegenden Kanälchen kommen vor (Köllikers Endschlingen), dagegen kann ich die Angabe von Charles Tomes nicht bestätigen, dass Zahnbeinkanälchen in die Interglobularräume der sogenannten Tomesschen „Körnerschicht“ gehen, und dass andere wiederum die Grenze des

Dentins überschritten und mit den Lacunen des Cements anastomosierten. Kein Dentinkanälchen wird nämlich durch einen Interglobularraum unumgänglich beendigt und in der Länge seines Laufes überhaupt beeinflusst. Im frischen Zustande geht es gemäss der vorhin beschriebenen Anordnung einfach durch die Grundsubstanz — etwas anderes ist ja der Interglobularraum nicht — durch, bis an die Grenze des Schmelzes. Erst durch das Eintrocknen der Grundsubstanz wird ein Einmünden der Kanälchen vorgetäuscht, indem seine weitere Fortsetzung jenseits des Interglobularraumes nur zu leicht dem Auge verloren geht. Aehnlich verhält es sich mit den Anastomosen nach dem Cement. Ich sah solche nur da, wo eine unverkalkte Grundsubstanz des Zahnbeins vorhanden war. Dieses Bild kann Knochenkörperchen verbunden mit Dentinkanälchen vortäuschen, und nur in äusserst seltenen Fällen, wo sich ähnliche Gebilde an der Cementgrenze zeigten, wie die sogenannten kolbenförmigen Fortsätze der Dentinkanälchen im Schmelze, konnte ich einen wahren Uebergang der Dentinkanälchen in das Cement mit Sicherheit beobachten. Bevor ich jedoch näher auf die kolbenförmigen Fortsätze eingehe, ist noch eine Eigentümlichkeit der eigentlichen Grenzlinie zu besprechen, welche mir von besonderer Wichtigkeit erscheint, weil die richtige Würdigung derselben uns einer genügenden Erklärung des mikroskopischen Bildes bedeutend näher bringt. Im allgemeinen verläuft die äussere makroskopische Grenzlinie des Zahnbeins bekanntlich conform der Pulpaoberfläche, und selbst bei geringen Vergrösserungen zeigt sie höchstens kleinere, aber wohlgeformte, wellenförmige Biegungen. Nur selten und zwar in den Fällen, wo die Grenzlinie nur sehr schwach ausgeprägt ist, kann man auch bei stärkeren Vergrösserungen eine einfache dünne, langgezogene Wellenlinie als Grenzlinie beobachten. Meist liegt dann die sogenannte Tomessche Körnerschicht an der letzteren. Viel häufiger aber kommt es vor, dass die Grenzlinie zwischen Schmelz und Dentin von nebeneinander liegenden Kugelabschnitten, welche die verschiedenste Grösse haben können, gebildet wird. Halbkreisförmige Ausschnitte, deren Oeffnung nach dem Schmelze zu gelegen ist, geben also eine scharf gezackte Begrenzung zwischen Schmelz und Zahnbein. (Siehe Tafel V Fig. 75.) In den weitaus meisten Fällen fehlt dann die Tomessche Körnerschicht. Die beiden Zahngewebe erscheinen also scharf voneinander abgegrenzt. Entfernt man den Schmelz ohne Zerstörung des Zahnbeins vollständig, so sieht

die Zahnbeinoberfläche aus, als wenn halbe Hohlkugeln aneinandergereiht wären. Die Tiefenzeichnung unserer mikroskopischen Objektive lässt deshalb leicht eine doppelte gezackte Grenzlinie in Querschliffen erscheinen.

Frühere Autoren haben diese Eigentümlichkeiten der Zahnbeingewebe wenig berücksichtigt. Erst v. Ebner (Strittige Fragen über den Bau des Zahnschmelzes) ging auf dieselben näher ein. Er sagt darüber wörtlich folgendes: „Man kann sich des Eindrucks nicht erwehren, dass bei den Menschenzähnen allgemein vor der Schmelzbildung eine Resorption des Zahnbeins erfolgt, durch welche die Enden der Zahnkanälchen arrodiert und blossgelegt werden. Die Oberfläche des Zahnbeins unter dem Schmelze der Menschenzähne ist stets mit rundlichen Gruben versehen, zwischen welchen firstartige Kanten gegen den Schmelz vorragen. Es ist genau das Bild der Howshipschen Lakunen einer Knochenresorptionsfläche.“ v. Ebner erklärt dann weiter, dass etwaige in den Schmelz eindringende Zahnkanälchen Reste von Zahnfasern sind, welche bei der Resorption stehen geblieben sind. Wenngleich ich nach einer Untersuchung einer grossen Anzahl von Schliffen solcher Zähne, deren Struktur als normale bezeichnet werden muss, nicht anzuerkennen vermag, dass die Zahnbeingrenze immer diese Verhältnisse zeigt, sondern, wie schon gesagt, auch langgestreckte wellenförmige Begrenzungslinien vorkommen, so ist die Annahme einer Resorption der ersten Zahnbeinschicht durch das Schmelzorgan in vielen Fällen durchaus gerechtfertigt. Vor allen Dingen spricht für dieselbe zunächst der Mangel der Tomesschen Körnerschicht und das plötzliche Abbrechen der verhältnismässig noch starken Zahnbeinkanälchen an der zackigen Grenzlinie. Die Zahnbeingrenzschicht wird da, wo es zunächst zur Bildung eines so mangelhaft entwickelten Gewebes, wie es die Körnerschicht in der That ist, gekommen ist, einer Resorption kaum widerstehen können. Die Bilder an einer solchen Zahnbeingrenze sind so eklatant, dass an einer erfolgten Resorption nicht gezweifelt werden kann, die von dem an der Zahnbeingrenze sich entwickelnden Schmelzorgane ausgehen muss. Die Intercellularsubstanz wird infolge dessen aufgesogen werden, und nur die lebendigen histologischen Elemente, in diesem Falle die Dentinfasern, werden der Resorption einigen Widerstand leisten können. vorausgesetzt, dass sie genügend entwickelt sind. Es kann deshalb vorkommen, dass einzelne starke Dentinkanälchen eine kurze Strecke in den Schmelz hineinragen.

Immerhin ist auch hier der Dentinkanal im Schmelz wie abgeschnitten, gerade so wie unzählige andere Kanälchen, die nur eben die Zahnbeingrenze erreichen. Die normalen feinen Spitzen der Kanälchen sind also in jedem Falle nicht mehr vorhanden. Dass dem so ist, lässt sich leicht bei starken Vergrösserungen in einzelnen Fällen mit Sicherheit erkennen. Ein Eindringen von Dentinkanälchen in den Schmelz ist deshalb nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen, wie es von einer Anzahl von Beobachtern (Waldeyer, Hertz u. a.) geschehen ist. Es muss dabei aber anerkannt werden, dass einerseits infolge der Tiefenzeichnung unserer mikroskopischen Objektive es sehr leicht zu Täuschungen führen kann, indem ein Kanälchen, welches in den oberen Schichten liegt, leicht noch über die Kugelkalotte hinausgesehen werden kann. Anderseits ist auch das wirkliche Uebertreten eines einfachen Dentinkanälchens in den Schmelz jedenfalls nur ein verhältnismässig selteneres Vorkommnis. Die Haupteigentümlichkeit der Dentinkanälchen nach vorangegangener Resorption der Grenzschicht ist das plötzliche Abbrechen derselben an der Zahnbeingrenzschicht bei verhältnismässig starkem Lumen der Kanälchen. Die feinsten Ausläufer der einfachen Dentinkanälchen widerstehen der etwa an der Grenzschicht bei Bildung des Schmelzes auftretenden Resorption im allgemeinen nicht. Diese Resorption kann natürlich nur von den Ameloblasten, welche dem neugebildeten Zahnbein anliegen, ausgehen. Die Bedingungen für eine Resorption sind schon in dem einleitenden Kapitel von mir gegeben. Der Pulpawulst drängt den oberen Teil der Zahnbeinpapille und damit das neugebildete Zahnscherbchen gegen die Ameloblasten, und in dem Kampfe um den Raum wird eine örtliche Verschiebung beim gegenseitigen Drucke der Gewebe die Formveränderungen der Dentinschmelzgrenze hervorrufen, worauf ich bei der Entwicklung des Zahnbeins zurückkomme. Die direkte Beobachtung von Schmelz der verschiedenen Tierklassen bestätigt obige Befunde an menschlichen Zähnen und lehrt, dass schon J. Tomes, v. Kölliker und besonders v. Ebner das wirkliche Vorkommen von Kanälen im Schmelz sicher konstatiert haben. Im Schmelze der Beuteltiere fanden diese Autoren Dentinröhrchen auf lange Strecken, bei einzelnen Nagern und beim Menschen aber nur kleinere Fortsätze der Zahnbeinkanälchen. Dieses Eindringen der letzteren in die Emaillesubstanz kommt nach meinen Beobachtungen viel häufiger vor, als es bisher angenommen wurde, ausser bei den schon angeführten Tieren auch bei Wiederkäuern, den Raubtieren und den

Affen, endlich im Schmelz mancher Fische. Zur Erklärung dieser Thatsache ist es zunächst nötig, die Grenze des Schmelzes und Zahnbeins bei den verschiedenen Tieren näher zu betrachten. Dieselbe hat ein sehr verschiedenes Aussehen. Einerseits findet man nur eine sehr schwach angedeutete Grenzlinie zwischen den beiden in Frage stehenden Geweben z. B. bei den Zähnen der Fische, (bei den Selachiern verschwindet sie ganz) und in denjenigen der Beuteltiere. Anderseits besteht die Zahnbeinschmelzgrenze in einer scharf abgesetzten nahezu gerade verlaufenden Linie, welche die beiden Gewebe in ihren Strukturelementen durchaus voneinander scheidet. Sehr häufig erscheinen die Zahnbeinkanälchen an dieser Grenzlinie baumförmig verästelt, das äusserste Zahnbein dabei mangelhaft verkalkt. (Siehe Tafel V Fig. 74 Dentinschmelzgrenze vom Rinde.)

Bei vielen Säugetieren ist nun diese gerade Linie in eine bogenförmige umgewandelt; in der Kronenspitze sind die Bogen im allgemeinen am grössten; in Wirklichkeit präsentieren die letzteren den Durchschnitt von halben Kugelschalen, deren Oeffnungen in allen Fällen nach dem Schmelze zu liegen, wie es schon oben von den menschlichen Zähnen beschrieben ist. Auch der Mangel der Tomesschen Körnerschicht, welche bei einer gezackten Grenzlinie des Zahnbeines niemals zu finden ist, scheint mir für eine Resorption zu sprechen. Als äusserst mangelhaft angelegtes Zahnbein ist diese Körnerschicht einer Resorption jedenfalls sehr zugänglich. Einzelne besonders lebensfähige Dentinkanälchen widerstehen der letzteren durchaus und ragen dann über die Dentingrenze hinaus; sie erscheinen aber wie abgeschnitten, obgleich sie meist eine ziemliche Stärke besitzen, ein Beweis, dass die Spitzen der Kanälchen wenigstens aufgesogen sind. Beobachtet man den Verlauf derselben, so sieht man deutlich, dass sie dem Zuge der Prismen meistens nicht parallel gerichtet sind, wie man wohl vermuten sollte, sondern dass sie die letzteren häufig in schiefer Richtung durchbrechen. Derartige Fortsätze der Dentinkanälchen im Schmelze sind gewöhnlich sehr kurz. Es kommen jedoch an den Spitzen der Dentinhöcker bei den Primaten und Carnivoren Bildungen vor, welche sich weit in den Schmelz hinein erstrecken können und nicht nur aus einem einfachen Dentinkanälchen bestehen, sondern eine grössere Portion unverkalkter Grundsubstanz um sich haben. (Siehe Tafel V Fig. 77.) Schon John Tomes sah den unmittelbaren Zusammenhang dieser eigentümlichen Gebilde mit entsprechenden Zahnbeinkanälchen, er nannte sie deshalb kolben-

förmige Endfortsätze der Dentinkanälchen. John Tomes fand sie sehr bald auch in menschlichen Zähnen, nachdem er auf ihr massenhaftes Vorkommen, insbesondere bei Huftieren aufmerksam geworden war.

Nach meinen Beobachtungen finden sich die kolbenförmigen Fortsätze bei menschlichen Zähnen ganz besonders an den Stellen, an welchen erstens die Erscheinungen der Resorption zu konstatieren waren, und zweitens, wo auch eine mangelhafte Anlage der ersten Schmelzschichten dieselben zulässt. Zumal die äussersten Spitzen an den einzelnen Zahnbeinhöckern der Zähne, die ja sehr häufig eine ungenügende Verkalkung aufweisen, zeigen vielfach wohlausgebildete kolbenförmige Fortsätze. Hier liegen sie centrifugal (von der Spitze des Zahnhöckers aus gerechnet) und folgen im allgemeinen dem Verlauf der Schmelzprismen, indem sie scheinbar zwischen die letzteren eingeschoben sind. Bödecker und später Abbot schlossen wahrscheinlich aus dieser Beobachtung, dass die kolbenförmigen Fortsätze grössere Protoplasmakörper seien, welche zum Teil den Zusammenhang der Dentinfasern mit den von Bödecker angenommenen Schmelzfasern vermitteln.

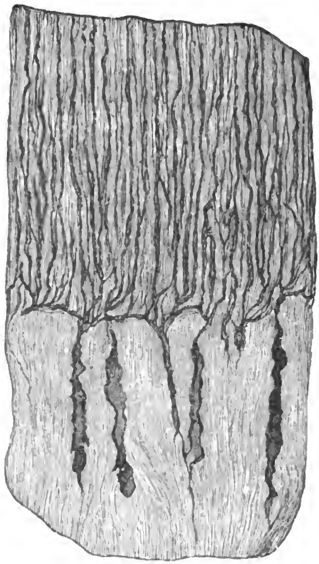


Fig. 75.
Kolbenförmige Fortsätze der Dentinkanälchen im Schmelze nach John Tomes.

Im übrigen sollen ja nach Ansicht dieser Autoren die Dentinfasern direkt in diese Schmelzfasern übergehen. Dieser letzten Behauptung widerspricht die Beobachtung des direkten Abbrechens der Dentinkanälchen an der Schmelzgrenze, wie ich sie vorhin schilderte, dermassen, dass ich eine Widerlegung dieser Ansicht für überflüssig halte. (Siehe Tafel V Fig. 75.)

Die Fehlerquelle liegt hier wohl darin, dass diese Autoren entkalkte Schnitte zur Untersuchung verwendeten. Bei dem durch

Säuren total entkalktem Zahnbein sind die Dentinkanälchen immer verengt, und deshalb wird das plötzliche Abbrechen verhältnismässig starker Zahnbeinkanälchen an der Schmelzgrenze nicht zur Beobachtung gekommen sein. Auf die Behauptung aber, dass die kolbenförmigen Fortsätze der Ursprung für die Schmelzfasern seien, muss ich näher eingehen.

Liegt ein solcher Fortsatz zwischen den Schmelzfasern parallel ihrem Verlaufe, so ist es kaum zu entscheiden, ob seitliche feine Ausstrahlungen des Fortsatzes in die Kittsubstanz der Schmelzprismen übergehen oder nicht. Die Begrenzungslinien der Schmelzprismen können dann sehr leicht das Bild feiner Kanälchen hervorrufen, und wenn dann noch die Querstreifung der Schmelzprismen hinzutritt, so kann die Täuschung eine fast vollendete sein. Ich sage Täuschung, weil ich sogleich evident nachweisen werde, dass es wirklich eine solche ist. Vorher muss ich jedoch die Struktur der kolbenförmigen Fortsätze zum besseren Verständnis besprechen.

Will man dieselbe richtig verstehen, so ist eine Beobachtung derselben Schliffe im frischen und trockenen Zustande unumgänglich nötig. Untersucht man dieselben dann bei sehr hohen Vergrösserungen, so findet man folgendes: Der oft weit in den Schmelz hineinragende Fortsatz besteht, wenn er stärker entwickelt ist, meist aus einer Anzahl eingeschnürter Abteilungen, welche häufig durch einen feinen Kanal unter sich verbunden sind. Dieser Kanal verändert seine Breite selbst dann nicht, wenn er durch die einzelnen Abteilungen läuft; er entspricht in seiner Dimension einem gut entwickelten Dentinkanälchen. In frischen Schliffen ist die das Kanälchen umgebende Grundsubstanz hell und wohl mit dem Inhalt der sogenannten Interglobularräume des Zahnbeins identisch. Die äussere Begrenzungslinie erscheint manchmal ein wenig zackig, wirkliche Fortsätze in das Schmelzgewebe in Gestalt von Fasern sind jedoch selbst bei den stärksten Vergrösserungen nicht zu konstatieren. (Siehe Tafel V Fig. 78.) Der kolbenförmige Fortsatz stellt somit ein einfaches Dentinkanälchen vor, welches der bei Bildung des Schmelzes auftretenden Resorption genügenden Widerstand entgegengesetzt hat. Es war schon eine gewisse Menge Grundsubstanz um dasselbe gebildet, welche die Resorption nicht vernichten konnte. Heitzmann, Bödecker, Abbot und neuerdings Morgenstern und Römer glaubten immer wirkliche Zellen in diesen Endfortsätzen gesehen zu haben. Die letztgenannten Autoren sehen dieselben als Nerven-

endigungen des Zahnbeins an. Ich gebe zu, dass insbesondere an der Spitze des Dentinhöckers bei einer sehr rasch vor sich gehenden Zahnbeinbildung einzelne Odontoblasten in das Gewebe eingeschlossen werden können, doch muss ich jede Bedeutung derartiger ausgesprengter Zellen sowohl für die Entwicklung des Zahnbeins als auch für eine Nervenendigung oder gar eine eventuelle Schmelzernährung leugnen, worauf noch bei der Entwicklung des Zahnbeins einzugehen ist.

Entwicklungsgeschichtliche Präparate früher Perioden zeigen nicht selten eine Verwerfung, ein Ineinanderschieben der Schmelzzellenschicht und der sich später entwickelnden Odontoblastenlage gerade in der Spitze der Dentinhöcker. Die seitlich an der Krone auftretende stumpfwinklige Knickung der Dentinkanälchen bei ihrem Eintritt in den Schmelz beweist ferner, dass Druckerscheinungen auf die kolbenförmigen Fortsätze bei der weiteren Bildung des Schmelzes an den Seitenflächen des Zahnbeinscherbchens stattfinden. Die Weiterentwicklung des im Schmelzorgane eingelagerten wuchernden Zahnbeinkeimes, insbesondere die Vermehrung der Pulpazellen, die Formierung und Vergrösserung der Odontoblasten ruft Druckwirkungen und eine Vergrösserung des gesammten Zahnbeinkeimes hervor, welche naturgemäss hauptsächlich in der Längsaxe des Zahnes erfolgen. Dieser Vorgang ist die Ursache der Resorptionserscheinungen an der Zahnbeingrenze. Es findet dabei aber ausserdem eine Schiebung des Zahnbeinkeimes gegen die Spitze der Schmelzpulpa statt, wobei die einzelnen frei hervorragenden kolbenförmigen Fortsätze an den Seitenflächen des Dentinkeimes eine Knickung erleiden. Ich halte es nicht für ausgeschlossen, dass durch den gegenseitigen Druck der beiden Gewebe auch eine Faltung der Berührungsflächen hervorgerufen wird. Auf den sich neuformierenden Schmelz hat die Entwicklung der beiden Zahngewebe innerhalb eines beschränkten Raumes ebenfalls einen bedeutenden Einfluss. Denn gleichzeitig erscheinen nicht selten im Schmelze insbesondere über der Spitze des Höckers eine Reihe von Knickungen der Schmelzprismen, welche, wie schon Kollmann vor einigen Jahrzehnten sehr schön beschrieben hat, als Zeichen von Druck während der Entwicklung beider Gewebe aufzufassen sind. Es bilden sich darin nur die schon früher erwähnten sogenannten Schregerschen Faserstreifen, Anomalien der Schmelzstruktur, welche bei geringer Vergrösserung als breite Linien erscheinen. Höhere Vergrösserungen lösen dieselben in Verlagerungen oder in

zickzackförmige Knickungen der Schmelzprismen auf. Die nachfolgende immer stärker werdende Petrifikation der letzteren macht dem Andrängen des Zahnbeinkeimes gegen das Schmelzorgan allerdings allmählich ein Ende, so dass die Beendigung der Schmelzprismen in geraden Zügen ermöglicht ist.

Ein oder mehrere wirklich selbständige, funktionierende Odontoblasten sind in den kolbenförmigen Fortsätzen nicht vorhanden. Ein kolbenförmiger Fortsatz stellt vielmehr ein Dentinkanälchen dar, welches der bei Bildung des Schmelzes auftretenden Resorption genügenden Widerstand entgegengesetzt hat. Es hat sich schon eine gewisse Menge Grundsubstanz gebildet, und diese war wohl die Ursache, dass die auftretende Resorption das Dentinkanälchen nicht gänzlich vernichten konnte. Die mangelhafte Kalkablagerung von Seiten des Dentinkeimes während dieser Bildungsperiode aber liess das Entstehen von scheinbaren Hohlgebilden (wie es ein trocken gewordener Schliff zeigt) zu, welche im frischen Zustande neben dem Dentinkanälchen die unverkalkte Grundsubstanz enthalten, ein Vorgang, der grosse Aehnlichkeit mit der Bildung der sogenannten Interglobularräume hat. Bei der ersten schnellen Entwicklung der Dentinkanälchen können aber natürlich nicht die Formen entstehen, welche mit Knochenkörperchen in früherer Zeit verwechselt wurden, sondern es müssen schmale, langgestreckte Gebilde entstehen, welche mehr walzenförmig erscheinen. Wird die ganze neugebildete Intercellularsubstanz wieder resorbiert, so können aus den kolbenförmigen Fortsätzen sehr wohl einfache, in den Schmelz hineinragende Dentinkanälchen entstehen. Die Lebensfähigkeit der in ihnen enthaltenen Zahnfasern wird einer nicht zu stark auftretenden Resorption einigen Widerstand leisten, und wenn letztere mit der gleichzeitigen Einlagerung der Schmelzprismen dann aufhört, so kann in späterer Zeit bei der mikroskopischen Untersuchung immerhin einmal ein Dentinkanälchen in den Schmelz gehend gefunden werden. Ich will jedoch hier nochmals betonen, dass ein derartiger Fund nur ein ziemlich seltener ist. Gewöhnlich wird mit der das Dentinkanälchen des kolbenförmigen Fortsatzes umgebenden Grundsubstanz auch das erstere resorbiert und damit auch die gewöhnliche, kurz abschneidende Endigung der Dentinkanälchen, wie sie an der Schmelzgrenze die Regel ist, hergestellt. Die kolbenförmigen Fortsätze können aber auch noch wie schon erwähnt ausgesprengte, funktionslose Zahnbeinzellen sein. Auf diesen Punkt wird auch bei der Zahnbeinbildung näher eingegangen werden

müssen. Hier sei nur die Bemerkung eingeflochten, dass unter Umständen ganze Reihen von ausgesprengten Zahnbeinzellen, welche hintereinander gelagert sind, vorkommen und kolbenförmige Fortsätze erzeugen können.

Wir müssen hier noch einmal auf die sich weit in den Schmelz erstreckenden Kanäle im Schmelz zurückkommen, wie sie sich insbesondere bei den Beuteltieren finden. Während im Schmelz der übrigen Säugetiere die Zahl der Schmelzkanälchen immer eine verhältnismässig sehr geringe ist, so muss man bei den Beuteltieren gerade das umgekehrte Verhältnis als Regel bezeichnen. Schon John Tomes wies nach, dass die Kanälchen im Schmelz und im Zahnbein bei den Beutlern identische Gebilde sind, und auch v. Ebner konstatierte den Zusammenhang derselben. An der Zahnbeinschmelzgrenze sahen beide Autoren Anschwellungen der Röhrchen. Der eigentliche Verlauf der Zahnbeinkanälchen im Schmelz ist aber von ihnen weniger berücksichtigt worden, sie stimmen darin überein, dass Schmelz- und Zahnbeinkanälchen unabhängig von einander entstehen. v. Ebner vermutet, „dass in den Fällen, in welchen Uebergänge von Zahnbeinkanälchen in Schmelzkanälchen vorkommen, der Schmelzbildung eine Resorption des primär gebildeten Zahnbeins vorausgeht, bis die Kanälchen eröffnet sind, und dass dann erst die Schmelzbildung beginnt, wobei die sich entwickelnden Schmelzkanäle im Anschluss an die eröffneten Zahnbeinkanälchen entstehen. Die Resorption des Zahnbeins kann von den Schmelz-

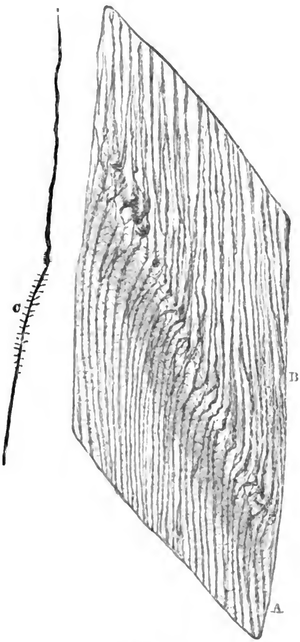


Fig. 79.
Zahnbein und Schmelz vom Känguruh. *A* gefiederte Dentinkanälchen in Schmelzkanälchen *B* übergehend. *C* ein isoliertes Dentinschmelzkanälchen nach Charles Tomes.

zellen selbst oder vielleicht von dem in der ersten Bildung begriffenen Schmelze ausgehen". In der Zusammenfassung seiner Resultate sagt dann noch v. Ebner, dass die Schmelzkanäle der Beuteltiere zwischen den Prismen verlaufen.

Bei der Untersuchung einer grösseren Anzahl von Zahnschliffen der Beuteltiere kann man sich zunächst überzeugen, dass der Schmelz im Gegensatz zu demjenigen anderer Tiere eine ungeheure Anzahl von Schmelzkanälchen aufweist. Ausserdem zeigen die vom Zahn in den Schmelz eindringenden Kanälchen eine Ausdehnung, wie sie sich nur noch in Fischzähnen wiederfindet. Dieselben reichten in einzelnen Fällen, wie ich mich oftmals im Gegensatze zu anderen Autoren überzeugen konnte, insbesondere bei den grösseren Känguruh-Arten, bis an die äussere Schmelzgrenze. Aber auch die Lage der Schmelzkanälchen ist bei den Beuteltieren eine andere wie im Schmelze der übrigen Säugetiere. Nur die Nager zeigen ähnliche Erscheinungen im Schmelzgewebe an der Dentingrenze. Röse behauptet zwar, die Schmelzkanälchen der Nager und der Beuteltiere seien Längsspalten in der Kittsubstanz und bildeten niemals die ununterbrochene Fortsetzung der echten Zahnbeinkanälchen. Hier scheint die Mikrophotographie wieder einmal entscheidend zu sein. Tafel V Fig. 80 zeigt deutlich die direkte Fortsetzung der Dentinkanälchen. Die Zahnbeinkanälchen ziehen nahezu geradlinig in den Schmelz hinein; sie erscheinen auch an den Seitenflächen des Dentinsystems an der Uebergangsstelle in den Schmelz nicht abgeknickt, wie ich dieses vorhin insbesondere von den Zähnen der Primaten beschrieb. Die Schmelzkanälchen der Beuteltiere bilden also die natürliche Fortsetzung der Zahnbeinkanälchen, und es findet sich höchstens ein schwach wellenförmiger Verlauf bei dem Uebertritte über die Zahnbeinschmelzgrenze. Dementsprechend verfolgen die Schmelzkanälchen nahezu immer die Richtung der Schmelzprismen, so dass sie zwischen letzteren eingelagert erscheinen. Dennoch kann man sich in guten Längsschliffen sehr leicht davon überzeugen, dass auch im Schmelze der Beuteltiere die Kanäle nicht an den Verlauf einzelner Schmelzprismen gebunden sind, sondern dass auch hier ein Uebertreten derselben über mehrere Prismen nicht selten stattfindet. Ja es kommen Umbiegungen der Schmelzkanälchen vor und zwar mitten im Schmelzgewebe, welche plötzlich rechtwinklig abbrechen und dann noch über eine ganze Anzahl von Schmelzprismen parallel der Schmelzgrenze fortlaufen. (Siehe Tafel VI Fig. 81.) Diese Thatsache beweist meines Erachtens deutlich zweierlei. Die soeben

erwähnte Rösesche Ansicht, dass die Schmelzkanäle in den Zähnen der Beuteltiere nur Spalten der Kittsubstanz wären, ist damit widerlegt. Anderseits ist aber dadurch nachgewiesen, dass auch die Schmelzkanälchen der Beuteltiere weder eine Bedeutung für die Entwicklung des Schmelzes, noch eine solche für die Ernährung des fertigen Gewebes haben können. Denn ihre Lagerung ist nicht an bestimmte Regeln gebunden, sondern durchaus eine zufällige. Ebenso wenig können sie aus in Röhren sich umwandelnden Schmelzzellen bestehen, wie John Tomes annimmt. Ausser dem willkürlichen Verlauf spricht der jedesmalige Zusammenhang eines Schmelzkanälchens mit einem Dentinkanälchen dagegen. Nach den bisherigen Befunden glaube ich zur folgenden Annahme der Zahnentwickelung der Beuteltiere berechtigt zu sein. Das Zahnbein wird wiederum zuerst formiert und zwar auf einem verhältnismässig grossen Raume. Nach Ausbildung der Zahnbeinkanälchen werden die Schmelzprismen zwischen ersteren eingeschoben. Die Zahnbeinschmelzgrenze ist bei den Beuteltieren lange nicht so stark contouriert wie bei den übrigen Säugetieren, die beiden Gewebe fliessen hier durch teilweise beiderseitige Einlagerung ihrer Elementarteile ineinander über. Dabei können allerdings gelegentlich auch Stauchungen und direkte Umknickungen der Zahnbeinkanälchen, welche jedenfalls kaum schon von organischer Grundsubstanz umgeben sind, auftreten. Eine Resorption bei der Entwicklung der beiden Zahngewebe, wie sie v. Ebner annimmt, ist wohl aus dem Grunde nicht sehr wahrscheinlich, weil die Kanälchen insbesondere in der Kronenspitze nahezu den ganzen Schmelz durchsetzen, und ausserdem die halbkreisförmigen Ausbuchtungen der Zahnbeinschmelzgrenze bei Beuteltieren überhaupt nicht vorkommen. Das Fehlen jeglicher Grundsubstanz um die Kanälchen lässt eher eine excessive Längenausdehnung der letzteren beim Wachstum wahrscheinlich machen. Eine auftretende Resorption seitens des später sich entwickelnden Schmelzes müsste noch weit eher zu einem kurzen Abbrechen der in den Schmelz eintretenden Dentinkanälchen führen als bei den übrigen Säugetieren. Die Anschwellungen der Zahnbeinröhren an der Schmelzgrenze erweisen sich bei stärkeren Vergrösserungen als mangelhafte Verkalkung der umliegenden Grundsubstanz. Erst hier scheinen also die Odontoblasten die eigentliche Produktion von Zahnbein aufzunehmen, während im Schmelz von ihnen nur ein Dentinfortsatz produziert wurde. Diese Anschwellungen, welche durchaus nicht immer in den Zähnen der Beuteltiere vorhanden sind, haben für die Erklärung

der Bildung dieser in Frage stehenden Kanälchen keine Bedeutung. Sie sind nur ein Ausdruck mangelhafter Kalkablagerung, wie sie gerade im Beginn der Verkalkung des Zahnbeins häufig an der Zahnbeinschmelzgrenze vieler anderer Säugetiere zu finden ist. Es muss späteren Untersuchungen überlassen werden, die Lage und die eventuellen Verschiebungen der Strukturelemente des Zahnkeimes bei den Beuteltieren während der Entwicklung festzustellen.

Während, wie schon erwähnt, in den Schmelz eindringende Dentinkanälchen bei den Beuteltieren das Schmelzgewebe gewöhnlich nahezu geradlinig durchziehen, ist die Lagerung der kolbenförmigen Fortsätze im Schmelze menschlicher Zähne eine wesentlich andere. An der Spitze der Dentinhöcker schliessen sie sich dem Verlauf der Prismen im allgemeinen an. Finden sich die kolbenförmigen Fortsätze aber an den seitlichen Flächen des Dentinsystems eines Zahnes, so tritt hier in den meisten Fällen eine Erscheinung auf, welche bestimmend für ihre Erklärung erscheint. Die Fortsätze sind dann von der Richtung der Dentinkanälchen stumpfwinklig abgebogen, und zwar nach dem Zahnhalse hinneigend. Die Schmelzprismen stehen dagegen im allgemeinen senkrecht auf den Enden der Dentinkanälchen, aber die kolbenförmigen Fortsätze folgen nicht dem Verlaufe der Schmelzprismen, sondern sind in schräger Richtung über die letzteren gelagert, und zwar oft über 10 bis 20 und noch mehr Schmelzprismen. Es ist der deutlichste Beweis dafür, dass die kolbenförmigen Fortsätze nichts mit der Schmelzbildung und noch weniger mit einer etwaigen Schmelzernährung wie sie Bödecker und Abbot annahmen, zu thun haben. Die Fortsätze verlaufen z. B. im Winkel von 60 Grad zu den einzelnen Schmelzprismenbündeln. Es ist einfach eine Lagerung später gebildeten Gewebes (Schmelzprismen), um ein schon früher vorgebildetes, aber zum Teil der Resorption unterliegendes Gewebe (der Zahnbeingrundsubstanz mit Erhaltung von Dentinkanälchen). Damit ist der Schluss gerechtfertigt, dass selbst diejenigen Dentinkanälchen, welche in den menschlichen Schmelz wirklich hineingehen, letzterem keine Lebensfähigkeit zu geben vermögen.

Die Erklärung für das eigentümliche Bild der winkligen Knickung der kolbenförmigen Fortsätze finde ich in den schon mehrfach erwähnten Druckerscheinungen, welche auf die kolbenförmigen Fortsätze bei Bildung des Schmelzes stattfinden. Die Schmelzprismen entwickeln sich, wie wir gesehen, centrifugal von der Dentinoberfläche ohne Rücksicht auf die schon früher

gebildeten kolbenförmigen Fortsätze. Letztere werden nach dem Zahnhalse zu durch den entstehenden Druck stumpfwinklig geknickt. Der Kampf um den Raum zwischen den sich entwickelnden Zahngeweben verursacht auch diese eigentümliche Erscheinungen, an der Zahnbeinschmelzgrenze, welche von den Autoren so verschiedenartig beurteilt wurden, sich aber einfach und ausreichend nach den Gesetzen der Entwicklungsmechanik erklären lassen.

Siebentes Kapitel.

Die Entwicklung des Zahnbeins.

Wir ersahen aus der allgemeinen Uebersicht der Entwicklung der Zähne, dass der embryonale Zahnbeinkeim die Bildungsstätte für das spätere Zahnbein ist. Erregte schon von jeher die Entwicklung des Zahnschmelzes das Interesse der Histologen, so wandte sich doch ihr Hauptaugenmerk im allgemeinen der Histologie und Entwicklung der Pulpa und ihrem Produkte dem Zahnbein zu. Speziell das letzte Jahrzehnt brachte eine grosse Menge diesbezüglicher Arbeiten. Verfolgt man die Litteratur der Zahnbeinentwicklung, so erkennt man bald, dass zumeist infolge der Anwendung verbesserter mikroskopisch-technischer Methoden bald die eine, bald die andere Theorie auftauchte, von den nachfolgenden Autoren zeitweilig wieder verworfen und später ebenso wieder aufgenommen wurde. Grundlegend für alle späteren Arbeiten waren die Veröffentlichungen Waldeyers, welcher in überzeugender Weise darlegte, dass die peripher gelegenen Zellen des Zahnbeinkeimes, welche er als Odontoblasten bezeichnete, wirklich auch die Zahnbeinbildner sind. Die Theorie von Hertz, wonach die Grundsubstanz der Pulpa zur Grundsubstanz des Zahnbeins sich umbilde, fand gar keinen Anklang, zumal seit Schwann, welcher schon 1839 die Dentinzellen als einen Ueberzug der Zahnpulpa beschrieben hatte, feststand, dass diese Zellen bei der Zahnbeinbildung stark beteiligt waren. Waldeyer, welcher die Bedeutung der von Tomes entdeckten Dentinfortsätze wohl würdigte, brach mit der bisher bestehenden Anschauung, dass die Zellkörper der von Schwann entdeckten Dentinzellen sich in die Zwischensubstanz und die Kerne sich in die Zahnbeinkanälchen umwandelten. In höchst übersichtlicher Form gab v. Ebner im Scheffschen Handbuche der Zahnheilkunde (Band I, Seite 249 u. ff.) einen geschichtlichen Ueberblick über die bisherigen Theorien der Zahnbeinbildung und stellte noch 1891 gleichzeitig als Hauptfrage hin, ob die Zellen sich in Grundsubstanz umwandeln, wie Waldeyer annahm, oder ob dieselben

Odontoblasten das Zahnbein liefern, was Kölliker kurz als eine Ausscheidung bezeichnet. Ich möchte hier die Hauptsätze dieser beiden Autoren wiedergeben. Waldeyer sagt in seinen Untersuchungen über die Entwicklung der Zähne (Zeitschrift für rationelle Medizin 1865): „Die Dentinbildung besteht in einer Umwandlung eines Teiles des Protoplasmas der Elfenbeinzellen in leimgebende Substanz mit nachfolgender Verkalkung der letzteren, wobei der andere Teil des Zellprotoplasmas in Form weicher Fasern (der Zahnfasern) unverändert in der erhärtenden Masse zurückbleibt." Kölliker (Handbuch der Gewebslehre 1863) fasste die Bildung der Grundsubstanz als eine Ausscheidung der Odontoblasten ähnlich einer Intercellularsubstanz auf. „Da die Elfenbeinzellen dicht aneinander liegen und noch keine Zwischensubstanz zwischen sich enthalten, dieselbe vielmehr erst zwischen den auswachsenden Spitzen derselben auftritt, so geht es auch nicht wohl an, dieselbe unmittelbar aus der Pulpa abzuleiten und bleibt nichts anderes übrig, als anzunehmen, dass sie unter Vermittlung der Elfenbeinzellen sich bildet. Man könnte nun daran denken, dieselbe in die gleiche Beziehung zu den Zellen zu setzen, wie die Knorpelkapseln zu den Zellen der Knorpel und annehmen, dass jede Elfenbeinzelle in ihrer auswachsenden Spitze durch Ausscheidung eine Röhre von leimgebender Substanz erzeuge, welche dann, indem sie ossifiziere, mit den benachbarten Röhren verschmelze, so dass dann die Grundsubstanz einzig und allein aus diesen äusseren Umhüllungen der Zahnbeinkanälchen gebildet wäre; allein ich muss bekennen, dass ich keine einzige Thatsache namhaft zu machen imstande bin, die für diese Auffassung spräche, indem die Grundsubstanz auch bei ihrem allerersten Auftreten eine durchaus gleichartige Masse ist, nie eine Spur einer Zusammensetzung aus Röhren darbietet und auch durch kein Mittel in solche zerfällt, und kann ich daher nicht anders, als die Grundsubstanz als eine durch alle Elfenbeinzellen gemeinsam gebildete Ausscheidung zu betrachten, die in keine besondere histologische Beziehung zu den einzelnen Zellen und Zahnkanälchen tritt."

Ich kann über die Besprechung dieser beiden älteren Theorien hinweggehen. Das Für und Wider in Rücksicht auf dieselben wurde von den verschiedensten Seiten genügend erörtert, ohne dass man je zu einem definitiven Resultate gekommen wäre. In vollem Umfange befriedigten sie eben beide nicht ganz, insbesondere in Bezug auf die Bildung der Grundsubstanz. v. Ebner stellte deshalb eine dritte Theorie mit folgenden wenigen Worten auf:

„Die Grundsubstanz des Zahnbeins mit ihren leimgebenden Fibrillen und den weiteren Differenzierungen geht aus einer Umbildung von lebendem Protoplasma hervor, ohne dass einmal ein Stadium eines flüssigen, daher wirklich formlosen Sekrets existiert.“ Eine wirkliche Begründung dieser Theorie unterliess v. Ebner leider ganz. Abgesehen von kleinen abweichenden Einzelheiten lassen sich die verschiedenen Arbeiten der bisherigen übrigen Forscher in eine dieser drei Haupttheorien einordnen. Eine Ausnahme davon macht Morgenstern. Dieser Autor entwickelte schon in früheren kleineren Aufsätzen, ganz besonders aber im Scheffschen Handbuche der Zahnheilkunde (Band I, S. 263 u. ff.), die stark von den bisherigen Theorien abweichenden Resultate seiner Untersuchungen. Man kann dieselben kurz als Conjugationstheorie bezeichnen. Die ausführliche Darstellung, welche Morgenstern in der soeben zitierten Arbeit gibt, gipfelt kurz in folgendem: Nur die runden, birnen- und rübenförmigen Randgebilde der Pulpa sind Zellen, die übrigen Formgebilde sind durch einen Conjugationsvorgang entstandene Organe. Erstere nennt Morgenstern Elementarzellen, die aus ihnen hervorgegangenen Gebilde Odontoblasten. Die verschiedene Form der Odontoblasten hängt nach ihm wesentlich von der Art der Gruppierung der sie konstituierenden Elementarzellen ab. Am häufigsten stellen sich die letzteren in Reihen auf, sie verschmelzen mit einander und zeigen eine Sanduhrform, von der jede Hälfte einen Kern enthält. Die cylinderförmigen Teile der Odontoblasten stellen ein späteres Stadium dar. — Ein warmer Verteidiger dieser Conjugationstheorie wurde Hoehl. Derselbe bestätigt die Beobachtungen Morgensterns im Allgemeinen, nur verlegt er den Conjugationsvorgang auf eine spätere Zeit, und schildert den letzteren folgendermassen: „Erst nachdem die Randzellen vielleicht durch die beim Wachstum sich entwickelnden Flüssigkeiten und Gewebsdrücke zusammengepresst werden, nehmen sie die schärfer charakterisierbare Gestalt an. Es ist wohl nicht unzweckmässig, die Randzellen in diesem Zustande als Primärodontoblasten zu bezeichnen, wobei freilich daran zu denken ist, dass sie noch nicht ihren Funktionen jetzt obliegen.“ Hoehl sieht als Kriterium der Primärodontoblasten eher ihre Lage am äussersten Pulparande als ihre wechselnde Form an. „Ihrer Entstehung nach müssen diesen gegenübergestellt werden die Sekundärodontoblasten, die als Produkt der Primärodontoblasten und der centralwärts von ihnen gelegenen Conjugationszellen einer etwas späteren Periode angehören.“ Hoehl sieht somit die Sekundär-

produkte als wirkliche Zellen an. Der Conjugationsvorgang stellt sich nach ihm so dar, dass unter den Primärodontoblasten die Conjugationszellen allmählich näherrücken, dann ihre Ausläufer in die Zwischenräume der Odontoblasten hineinschicken und schliesslich langsam mit deren Plasma zu einem Zellkörper verschmelzen, wobei der Kern der Conjugationszelle im centralen Teile des neuen Zellkörpers liegen bleibt, während der Kern, oder wenn die Conjugation sich schon wiederholt hat, die vorhandenen Kerne nach der Peripherie ausweichen. Die Kerne verlieren nach Hoehl, je näher sie der Peripherie kommen, desto mehr an Affinität zu den Tinktionsmitteln. Aehnliche Veränderungen erleide auch das Plasma. Einen neueren Aufsatz von Morgenstern (Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1895, Seite 297) berücksichtigt Hoehl in seiner Arbeit nicht. Morgenstern bespricht in demselben den Anteil der Blutgefässe bei der Zahnbildung. Da derselbe weniger bekannt zu sein scheint, aber doch eine wichtige Erweiterung der Conjugationstheorie ist, so führe ich die Hauptsätze desselben in Folgendem an. „Die Odontoblasten sind nichts weiter als eine Vorstufe des Zahnbeins. Der sogenannte Kern der Odontoblasten ist eine Bildungszelle und vollkommen identisch mit unzähligen, im Dentinkeime und der späteren Pulpa vorkommenden Zellen. Dieselben gehören grösstenteils dem Gefässsysteme an und treten zuerst als Bildungszellen von Gefässsprossen in die Erscheinung. Die Kerne dieser Zellen bleiben noch lange im fertigen Zahnbein erhalten und können in fast jeder Altersstufe mindestens als Granula oder Residuen von Kernen wieder hervorgerufen werden. Sie liegen zuerst in den Dentinkanälchen, deren ganze Weite ausfüllend, und zwar in ziemlich regelmässigen Abständen. Je zwei Kerne sind durch einen protoplasmatischen Fortsatz miteinander verbunden, welcher als Tomessche Faser bekannt ist. Gegen die Peripherie des Zahnbeins werden die Kanälchen enger, und die Kerne der Bildungszellen finden wir dann häufig intertubulär angeordnet. Neben diesen Kernen spielen die Endothelzellen der Pulpagefässe eine hervorragende Rolle bei der Zahnbeinentwicklung. Sie wachsen zu Fibrillen aus, die teilweise um die Bildungszellen angeordnet sind und später in der Neumannschen Scheide wieder erscheinen, oder sie treten als intertubuläre Fibrillen auf, teils parallel mit den Kanälchen, teils in allen Winkeln zu diesen gestellt, das Zahnbein durchziehend. Die Vorstufe jedes Zahnbeins ist somit ein Vasodentin. Zur Bildung der Zahnbeingrundsubstanz werden durch direkte Verkalkung sämtliche bindegewebigen Bestandteile

der im Dentinkeim vorkommenden Elemente verbraucht und ausserdem die Blutkörperchen."

Aus dieser Wiedergabe der Ansichten Morgensterns und Hoehls über die Zahnbeinentwicklung ist zu ersehen, dass diese beiden Autoren die ursprüngliche Umwandlungstheorie Waldeyers in ganz anderer Weise ausgebaut haben; es ist dadurch eine neue Conjugationstheorie entstanden, welche zwar teilweise auf den Mitteilungen Waldeyers (Strickers Handbuch der Gewebelehre Seite 348) fusst, aber sich in ihren Resultaten weit davon entfernt, obgleich nicht zu leugnen ist, dass auch Hertz (Virchows Archiv für pathologische Anatomie Band 37, Seite 312, 315 und 316) schon ganz ähnliche Gedanken über die Formation der Zellen bei der Zahnbeinbildung ausgesprochen hat.

Nach diesen so verschieden lautenden Mitteilungen neuerer Forscher schien eine Nachprüfung derselben sehr erwünscht zu sein, und ich führte dieselbe im Jahre 1897 aus. Sie bestand in einer kritischen Betrachtung speziell der beobachteten Formen der Odontoblasten und der sich entwickelnden Grundsubstanz. Bevor ich auf die Kritik der bisherigen Theorien eingehe, möchte ich meine eigenen Untersuchungen über die Entwicklung des Zahnbeins an der Hand objektiver Bilder näher erläutern. Hier zeigte sich die Mikrophotographie im günstigsten Lichte, indem sie die richtige Festlegung der Form, Grösse und des Baues der Strukturelemente äusserst präzis ermöglichte. Die besten Ergebnisse bei der Untersuchung der Entwicklung des Zahnbeins erzielt man an solchen Präparaten, welche die erste Dentinbildung in Form des sogenannten Zahnscherbchens zeigen. Als beste Fixiermethode erwies sich mir die Flemmingsche Platinchloridlösung. Die Schnitte färbte ich gewöhnlich mit Safranin oder mit Kernschwarz. Letzteres wandte ich meist an, wenn die Schnitte mikrophotographisch aufgenommen werden sollten. In solchen Schnitten sind dann alle Formveränderungen der Elementarteile sichtbar. Die Präparate wurden bei hoher Vergrösserung mit Zeiss' Apochromat-Oelimmersion num. Apertur 1,40 und Projektionsokular IV auf farbenempfindlichen Platten aufgenommen, teils in der Weise, dass ich Serienbilder von der Spitze des Dentinkeimes bis zur Umbeugungsschlinge des Schmelzorganes anfertigte. Die scharf ausgezeichneten Mittelfelder der einzelnen Bilder wurden in entsprechender Reihenfolge aneinander gefügt und ergaben auf diese Weise ein Bild des gesamten Zahnbeinkeimes in einer Schärfe und Genauigkeit, wie sie sich eben nur

mit Hilfe der Mikrophotographie ermöglichen lassen. Derartige Arbeiten erfordern allerdings einen ganz bedeutenden Aufwand an Zeit und Mühe. Ein solches Serienbild zeigt Tafel VII. Die Befunde sind am deutlichsten bei den Carnivoren, besonders Hunden und Katzen, aber auch Nager sind für manche Verhältnisse sehr gute Objekte. Die allgemeinen Resultate in Bezug auf die Zahnbeinentwicklung waren nun folgende.

An der Umbiegungsstelle des Schmelzorganes, dessen Zellen von dem Zahnbeinkeime in ihrer Totalität durch eine scharfe Grenzlinie getrennt sind, liegen vielfach in Teilung begriffene Rundzellen. Letztere unterscheiden sich an dieser Stelle in nichts von den Zellen des übrigen Zahnbeinkeimes, nur sind sie dichter gehäuft. Diese Rundzellen erhalten jedoch meist sehr bald von der Grenzlinie einen gewissen Abstand; die hier neugebildete Intercellularsubstanz erscheint nahezu strukturlos. Nur an einzelnen Stellen erkennt man zarte, aber ganz unregelmässig verlaufende Linien und kleine dunkler als die übrige Zwischensubstanz contourierte Körnchen. Vielfach erscheinen auch die Zellen oval, die L ä n g s a c h s e derselben liegt nach j e d e r nur denkbaren Richtung hin. Tafel VI Fig. 82 zeigt die Umbeugungsschlinge des Schmelzorganes. Rechts von derselben liegen hervorgedrängte Rundzellen des Pulpawulstes, teilweise noch in Teilung begriffen. Diese Rundzellen haben zunächst k e i n e n Z e l l l e i b, sondern bestehen nur aus einem mit zahlreichen Granulis versehenen Kerne; sie senden nur und zwar hauptsächlich von ihren Polen kurze, sehr zarte Fortsätze in sehr geringer Zahl in die umliegende Intercellularsubstanz. (Siehe Tafel VII I.) Die Rundzellen, welche am Rande des Dentinkeimes liegen, unterscheiden sich von den inneren durch nichts; auch sie schicken mitunter kurze Fortsätze in die schon erwähnte, nahezu strukturlose Schicht zwischen Dentinkeim und Schmelzorgan, welche also den ä u s s e r s t e n Rand des Dentinkeimes bildet. (Siehe Tafel VI Fig. 82 links.) Diese soeben beschriebene Lagerung der Rundzellen findet man häufig auf einer ziemlich grossen Strecke nach der Spitze des Dentinkeimes zugerechnet. V e r h ä l t n i s s m ä s s i g p l ö t z l i c h, vielleicht im V e r l a u f w e n i g e r (drei bis fünf) nebeneinander liegender R u n d z e l l e n sieht man in den Längsschnitten, dass dieselben sich n e b e n e i n a n d e r o r d n e n. (Siehe Tafel VI Fig. 83 *o* und Tafel VII II.) D i e L ä n g s a c h s e d e r Z e l l e n stellt sich s e n k r e c h t zur Grenzlinie des Schmelzorganes, und in der Richtung gegen dasselbe wird ein w a l z e n f ö r m i g e r P r o t o-

plasmakörper seitens der ursprünglichen Rundzellen produziert, wobei die letzteren die Kerne für die nun im Aussehen gänzlich veränderten Zellen werden. Diese Kerne bleiben in jedem Falle am centripetalen Ende der Zelle, das neugebildete Protoplasma wird also in der einen Richtung nach dem Schmelzorgan hin produziert, es wird seitens des Zellkerns in die erwähnte strukturlose Schicht förmlich hineingeschoben. (Siehe Tafel VII III.) Letztere bleibt als sehr geringe Zwischensubstanz bestehen. Sowie nun das von dem Kerne vorgeschobene Protoplasma die Grenze des Schmelzorganes erreicht hat, wird die Zelle im wahren Sinne des Wortes zum Odontoblast: sofort wird die Ablagerung von Zahnbein zunächst in Form dentinogener Substanz aufgenommen. Während die primäre strukturlose Schicht am Rande des Dentinkeimes wie die übrige embryonale Zwischensubstanz eine sehr geringe Affinität für Farbstoffe zeigt, wird das von den Rundzellen neu produzierte Protoplasma sofort von denselben deutlich angefüllt. Der Protoplasmakörper der einzelnen Odontoblasten erscheint im ausgebildeten Zustande walzen- oder cylinderförmig, nur er berührt die Grenzlinie des Schmelzorganes, niemals ein Kern; an der Grenze der neugebildeten dentinogenen. Substanz setzt er breit auf. (Siehe Tafel VII IV.) Schon im ersten Stadium der Zahnbeinbildung lassen sich im Dentin die feinen Fortsätze der Odonto blasten (Tomessche Fasern) erkennen. Sie sind offenbar nichts anders, als die feinen Fortsätze der Protoplasmakörper der einzelnen Zellen, ohne jede Beteiligung der Kerne. Dies beweist schon das conforme Färbungsvermögen. Verfolgt man nun die Odontoblasten nach der Spitze des Zahnbeinkeimes zu, so erkennt man leicht, dass der Gesammtkörper derselben allmählich einen grösseren Umfang erreicht, und zwar betrifft dieses die Längen- und Breitenausdehnung der Zellen, sowohl der Kerne als ganz besonders das Protoplasma derselben. (Siehe Tafel VII V.)

Trotz dieses Wachstums der Odontoblasten in Länge und Breite vermehrt sich an ihren Seiten die Intercellularsubstanz ebenfalls verhältnismässig ziemlich stark, so dass die Zellen noch mehr voneinander getrennt werden. Die Odontoblasten behalten jedoch vorläufig noch immer die ursprüngliche Cylinderform, das Protoplasma des Zellleibes zeigt dauernd eine grosse Neigung zur Aufnahme von Farbstoffen. An der

Stelle, wo das erste neue Zahnbein erscheint, schliesst das Protoplasma der einen Zelle häufig sogar scheinbar an dasjenige der nebenliegenden; der unmittelbar auf dem neugebildeten Zahnbein aufsitzende Protoplasmakörper hat vielleicht infolge des vermehrten Längenwachsthums eine gewisse Stauchung, jedenfalls eine geringe Verbreiterung erfahren. Ein bis zwei Dentinfortsätze, welche jeder Zelle entspringen, sitzen derselben breit auf. Oertlich bestimmt findet sich dieses Verhalten der Odontoblasten in der Nähe der Stelle, wo auf dem neugebildeten Zahnbein *die erste Anlage* des Schmelzes sichtbar wird. Von nun an werden die Odontoblasten nach der Spitze des Dentinkeimes gerechnet zwar noch länger aber *schmäler*, und dieses trifft insbesondere den Protoplasmakörper der Zellen. Gleichzeitig aber erfolgt eine *stärkere Vermehrung der Intercellularsubstanz zwischen den* Odontoblasten, wodurch die letzteren immer mehr von einander isoliert werden, und nicht mehr so breit mit dem Protoplasmakörper auf dem neugebildeten Zahnbein aufsitzen. Die Intercellularsubstanz tritt *bis an die Oberfläche des neugebildeten Zahnbeins* heran, und in der Spitze des Dentinkeimes nehmen die Odontoblasten *allmählich eine mehr birnen- oder rübenförmige Form* an, indem sie teilweise nach dem Centrum des Dentinkeimes *zurückweichen*. (Siehe Tafel VII VI.) *Jeder Odontoblast* aber *sendet durch die Intercellularsubstanz auch späterhin* meist nur *einen Dentinfortsatz*. Während also im gesammten übrigen Teile des Dentinkeimes eines Zahnes, bei welchem die Zahnbeinbildung soeben erst begonnen hat, immer nur *eine* Reihe von Odontoblasten zu konstatieren ist, liegen die letzteren in der Spitze des Dentinkeimes *hintereinander*. Noch frühere Stadien der Entwicklung des letzteren lassen erkennen, dass auch diese rübenförmigen Odontoblasten ursprünglich ebenfalls Walzen- oder Cylinderform besessen haben, dass also die ersteren nur eine Umwandlungsform der letzteren sind. Im übrigen ist in der gesammten Ausdehnung der Odontoblasten von der Spitze des Dentinkeimes bis zur Umbeugungsschlinge des Schmelzorganes *nirgends* ein Conjugationsvorgang, eine Verschmelzung mehrerer Zellen zu einer einzigen, erkennbar. *Dagegen* sprechen die soeben beschriebenen *Lagerungen und Umformungen der Elementarteile* des Dentinkeimes meines Erachtens direkt *gegen* eine derartige Theorie. *Denn auch die unter der Odontoblastenschicht liegenden Rundzellen* stehen in der *ganzen* Ausdehnung der ersteren

genau auf der embryonalen Stufe der Entwicklung wie diejenigen in der Nähe der Umbeugungsschlinge. Die Achsenrichtung ist genau so regellos, ihre Grösse ist vielleicht ein wenig gewachsen. Bei immerwachsenden Zähnen liegen diese Rundzellen häufig sogar wagerecht mit ihrer Längsaxe unter den Odontoblasten und nicht etwa senkrecht, wie man doch notwendiger Weise annehmen müsste.

Wir haben also nach diesen Erörterungen vier verschiedene Formen der Odontoblasten zu unterscheiden und können dementsprechend auch vier Stadien ihrer Entwicklung scharf von einander trennen. Jeder Odontoblast macht dieselben durch, und zwar erstens (als jüngste Form) die Bildung regellos liegender Rundzellen, zweitens findet man das Ordnen derselben nebeneinander mit beginnender Formation eines protoplasmatischen Zellleibes, drittens einen walzen- oder cylinderförmigen Bau, und viertens eine Rüben- oder Birnenform der Odontoblasten. Die Ausdehnung dieser Formationsstadien ist räumlich und zeitlich bei den einzelnen Tierordnungen jedenfalls sehr wechselnd. Sie richtet sich nach meinen Beobachtungen zumeist wohl nach der mehr oder minder schnellen Entwicklung des betreffenden Zahnes. Im Zahnbein der immerwachsenden Zähne findet man meist nur das dritte und vierte Stadium sehr stark ausgeprägt, die Umbildung der Rundzellen zu eigentlichen Odontoblasten geht dem schnellen Wachstum des Zahnes entsprechend sehr rapide vor sich, während beim wurzeltragenden Zahne besonders das erste Stadium oft einen weiten Raum einnimmt. Bei den immerwachsenden Zähnen findet man deshalb die strukturlose Schicht des ersten Stadiums gar nicht. Die ursprünglichen Rundzellen sind hier an der Umbeugungsschlinge des Schmelzorganes viel zahlreicher, sie liegen dicht gedrängt, nahezu aneinander, so dass nur wenig Intercellularsubstanz vorhanden ist. Dagegen sind sie in viel zahlreicherer Teilung begriffen, weil das enorm schnelle Längenwachstum des Zahnes auch eine viel schnellere und zahlreichere Formation von Odontoblasten erfordert. Letztere produzieren im Gegensatz zu denen des wurzeltragenden Zahnes meist viel früher und auf eine weit grössere Längenausdehnung Zahnbein. Die vielfache Teilung der Rundzellen an dem Pulpawulste spricht sich bei den immerwachsenden Zähnen besonders dadurch aus, dass hier viel zahlreichere Zellen, denen man es schon infolge der stärkeren Aufnahme von Farbstoffen ansieht, dass sie später wahre Odontoblasten

werden, hintereinander liegen. Hier haben wir aber rapide Teilungsvorgänge und nicht etwa Verschmelzungen von Zellen vor uns. Auch bei den immerwachsenden Zähnen bleibt also jede Zelle nach vollendeter Teilung eine solche für sich. Nach diesen thatsächlichen Befunden müssen verschiedene Modifikationen in der Anschauung über die Bildung des Zahnbeins eintreten, z. B. kann ich die Conjugationstheorie nicht als zu Recht bestehend erachten. Weder im Pulpawulste noch auch in dem Teile des Zahnbeinkeimes, wo die Odontoblasten nebeneinander liegen, können wir eine wirkliche Verschmelzung der Elementarzellen miteinander konstatieren, und das wäre die notwendige Bedingung, unter welcher die Conjugationstheorie Morgensterns und Hoehls überhaupt bestehen kann. Die einzige Stelle, wo man im Sinne des ersten Autors einen Augenblick zweifelhaft sein könnte, ist der Beginn der ersten Zahnbeinbildung. Eine genaue Beobachtung ergibt hier jedoch nur ein Richten weniger Zellen in ihrer Längsachse und eine sofortige anhaltende Produktion derselben von Protoplasma. Die Elementarzellen liegen ja auch von vornherein durch eine Zwischensubstanz von einander getrennt. Dieselbe vermehrt sich, wenn auch nur ganz allmählich, doch mit Sicherheit immer mehr, und isoliert damit um so stärker nicht nur die einzelnen Odontoblasten unter sich, sondern diese auch von den darunter liegenden Elementarzellen des Dentinkeimes. Nach der Conjugationstheorie müsste man wenigstens an irgend einer Stelle gerade in dieser Partie der Odontoblasten eine Zellverschmelzung erkennen. Der Zellkern der Odontoblasten liegt, wie schon erwähnt, dauernd und bei jeder Formation am inneren Ende der Zelle. Zieht man nun dabei noch in Betracht, dass an der Stelle, an welcher die Odontoblasten des Stadiums der Walzenform schon längst so viel Zahnbein abgelagert haben, als wie ihre Länge beträgt, so müsste man irgendwo, entweder in ihnen selbst oder an ihrer inneren Berührungsstelle, mit dem Zahnbeinkeim einen Verschmelzungsvorgang sehen können. In meinen entwicklungsgeschichtlichen Präparaten war derartiges niemals aufzufinden. (Siehe auch Tafel VII.)

Diese Thatsache bestimmte jedenfalls Hoehl, den Conjugationsvorgang auf eine viel spätere Zeit zu verlegen, und er gibt deshalb in Figur 1 seiner Abhandlung die Spitze eines Zahnes wieder, welche die Odontoblasten und die Conjugationszellen darstellt. (Fig. 84.) Das Präparat von Hoehl ist ungefähr auf demselben Zeitpunkte der Entwicklung wie dasjenige, welches ich im Serienbilde auf Tafel VII abbilde. Die Odontoblasten befinden sich schon im

vierten Stadium, der Rübenform, und in der Spitze eines solchen Zahnes ist in der That leicht eine Hintereinanderordnung derselben zu erkennen. Aber auch diese spricht bei genauer Untersuchung durchaus nicht für die Conjugationstheorie. Nur einzelne Odontoblasten nämlich reichen noch mit ihrem protoplasmatischen Zellleibe bis an die Zahnbeingrenze, viele derselben sind weiter abgerückt. Erstere wurden zwar kürzer, zeigen aber noch Andeutungen der Walzenform, während die hinter ihnen liegenden rübenförmigen je einen Dentinfortsatz in das neugebildete Zahnbein senden. Diese Dentinfortsätze, welche innerhalb einer verhältnismässig reichlich ausgebildeten Intercellularsubstanz der näher am Zahnbein liegenden Odontoblasten eingebettet sind, sind das Bindeglied für das Zahnbein und die in zweiter Reihe liegenden Odontoblasten. Diese langen Dentinfortsätze in der Intercellularsubstanz des Zahnbeinkeimes sprechen ebenso gegen die Conjugationstheorie, wie die permanente Lage der Zellkerne am inneren Ende auch der rübenförmigen Odontoblasten. Ferner muss auch hier der schon gegen die Morgensternsche Ansicht gemachte Einwurf wiederholt werden, dass von den letzteren doch schon längst eine grosse Menge Zahnbein produziert ist, ohne dass ein wirklicher Conjugationsvorgang zu konstatieren ist. Hoehl scheint seine Untersuchungen hauptsächlich an menschlichen Zähnen gemacht zu haben. Aber gerade an diesen findet man in noch nicht völlig geschlossenen Wurzeln die cylinderförmige embryonale Form der Odontoblasten in einer Lage noch lange Zeit ohne jeden Conjugationsvorgang. Dabei ist das Zahnbein jedoch schon vielmals stärker angelagert, als die Länge dieser Odontoblasten beträgt.

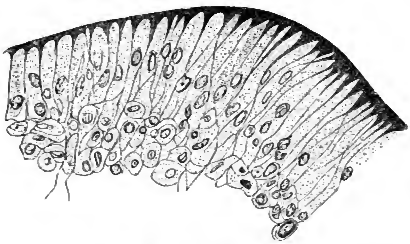


Fig. 84 nach Hoehl.
Der obere dunkle Rand ist die Membrana praeformativa (dentinogene Substanz), die darunterliegenden grossen Zellen sind die Odontoblasten, ihnen schliessen sich nach unten die Conjugationszellen nach Hoehl an, welche von Maschen des intercellulären Netzes umgeben sind.

Mir scheint, als wenn alle bisherigen Beobachter bei Beurteilung dieser Dinge die Intercellularsubstanz zwischen den

Odontoblasten nicht genügend gewürdigt haben. Oft ist dieselbe in den Zeichnungen ganz fortgelassen oder als ganz unwesentlich behandelt. Nach meinen Mikrophotographien liegt in jedem Falle bei den rübenförmigen Odontoblasten eine gewisse Menge Intercellularsubstanz zwischen den letzteren. (Siehe Tafel VII.) Dieselbe gehört aber nicht etwa schon zur dentinogenen Substanz (Membrana praeformativa), sondern zum Gewebe der Zahnpapille. Hier befinde ich mich im starken Gegensatz z. B. zu Hoehl, welcher in seiner Figur den protoplasmatischen Zellleib der Odontoblasten schon von dentinogener Substanz umlagert abbildet. Derartiges kommt aber nach meinen Beobachtungen niemals vor, sondern die Grenzlinie, welche ganz scharf die cylinderförmigen Odontoblasten gegen das neugebildete Zahnbein absetzt, trennt letzteres auch von den rübenförmig gewordenen Odontoblasten in der Spitze des Dentinkeimes. Diese Grundlinie verläuft in grossem Bogen entsprechend der Form der späteren Pulpa; eine derartige Ausfranzung, wie Hoehl sie in Figur 2 seiner Monographie wiedergibt, habe ich niemals nach Abhebung der Odontoblasten von der dentinogenen Substanz bei der letzteren finden können, ebenso wenig eine Färbung der Intercellularsubstanz zwischen den Odontoblasten, wie sie der Autor in Figur 1 seiner Abhandlung darstellt. Vielleicht wurde die Täuschung durch die Anwendung des diffus färbenden Anilinblaus verursacht. In dieser primären ungefärbten Intercellularsubstanz liegen nun, wie schon oben bemerkt, die Dentinfortsätze der rübenförmigen Odontoblasten, welche an der Spitze des Zahnbeinkeimes in zweiter Reihe liegen. Hoehl sieht offenbar diese, wie ich gleich bemerken will, aus der Reihe gedrängten Odontoblasten als Conjugationszellen an. Nach meinen Ausführungen über die primäre Intercellularsubstanz und die durchlaufenden Dentinfortsätze kann ich dieser Auffassung nicht beistimmen, zumal nirgends eine Verschmelzung zweier Zellen zu einem Zellkörper positiv nachgewiesen werden konnte. Gerade das vielfach vorkommende Neben- und Uebereinanderliegen der rübenförmig gewordenen Odontoblasten ist, wie ich glaube, leicht die Ursache einer Vortäuschung dieser von Hoehl aufgestellten später verlaufenden Conjugationstheorie. Nach den mitgeteilten Ergebnissen stehe ich nicht an, wiederum den grundlegenden Satz v. Ebners über die Zahnbeinbildung in den Vordergrund zu drängen: „Die Dentinbildung wird bis zu Ende von denselben Odontoblasten besorgt.“

Fragen wir nun nach der Art und Weise, nach welcher die von der Spitze des Dentinkeimes zunächst ausgehende Umbildung der urspünglich cylinderförmigen Odontoblasten in die Rübenform vor sich geht, so erscheint es mir als das Wahrscheinlichste, dass die Raumverengerung des Zahnbeinkeimes, welche durch die fortwährende Neubildung von Zahnbein in neutraler Richtung unzweifelhaft entsteht, die Hauptursache dafür ist. Die erste Anlage des Zahnbeins erfolgt bekanntlich ziemlich rasch, insbesondere in den Spitzen des Dentinkeimes, und wenn man die ganzen Raumverhältnisse des letzteren in den einzelnen Stadien der Entwicklung in Betracht zieht, so sind wirklich genug Zellen für die Zahnbeinproduktion angelegt, um die letztere zu vollenden, ohne dass man auf die Ersatzzellen der Conjugationstheorie zurückzugreifen braucht. Die grossen walzenförmigen Odontoblasten sind bei immer mehr zunehmender Raumverengerung einfach gezwungen, gewisse Veränderungen der Form und der Lage durchzumachen. Hier sind nun drei Möglichkeiten vorhanden. Entweder die Odontoblasten verkleinern sich, oder sie ordnen sich hintereinander, oder sie werden in das Zahnbeingewebe eingeschlossen. Alle drei Arten kommen bei der Entwicklung des Zahnbeins im Gebiss der Säugetiere vor. Häufig sind dieselben kombiniert vorhanden. Durch ein Ineinandergreifen der ersten und zweiten Möglichkeit z. B. entsteht die vorhin besprochene Birnen- oder Rübenform der Odontoblasten, welche man zunächst in der Spitze des Dentinkeimes antrifft. Die vorhin geschilderten verschiedenen Bilder von Odontoblasten finden sich ja gleichzeitig in demselben Zahne nur etwa zur Zeit des Beginnes des extrauterinen Lebens. Mit der Ausbildung des Zahnbeins schreitet nun auch die weitere Umbildung der Walzenform in die Rübenform bei den Odontoblasten und zwar von der Spitze des Zahnbeinkeimes nach der Wurzel zu fort. Gleichzeitig erfolgt die Hintereinanderordnung der Odontoblasten auch an den Seitenflächen der Pulpa, jeder sendet jedoch einen Dentinfortsatz in das Zahnbein. Mit zunehmendem Alter

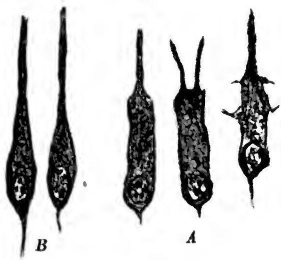


Fig. 84.
Schematische Formen der Odontoblasten *A* Walzenform, *B* Rübenform.

also der Raumverengerung für den Dentinkeim, werden die Odontoblasten immer kleiner. Früher glaubten die Anhänger der Sekretionstheorie, dass die Dicke der mikroskopischen Schnitte ein mehrfaches Hintereinanderliegen der Odontoblasten etwa durch Schrägschnitt bedinge. Dieser Umstand wurde ganz besonders gegen die Umwandlungstheorie Waldeyers angeführt. Die Hintereinanderordnung der Odontoblasten findet nun in der That statt, aber sie ist kein Beweis weder für noch gegen eine der alten Theorien, denn keine rechnete mit der bei der Zahnentwicklung auftretenden unumgänglich nötigen Formveränderung der Odontoblasten.

Bei alten Tieren, namentlich aber beim Menschen findet man unter den Odontoblasten, eine bei der Histologie der fertigen Pulpa noch näher zu besprechende nahezu strukturlose Schicht, welche, nach dem Entdecker Weilsche Schicht genannt, die Aufmerksamkeit der Odontologen im letzten Jahrzehnt erregte. (Siehe Tafel VI Fig. 86 *w*). Der Entdecker hielt sie für ein normales Gebilde der Pulpa, während sie von Röse als Kunstprodukt angesehen wurde. Die scharfe Kontroverse, in welche dieser Autor mit Weil geriet, konnte ich beim Menschen schon in meinem Atlas der normalen Histologie menschlicher Zähne 1894 zu Gunsten Weils entscheiden. Auf die verschiedenen Ansichten über die Weilsche Schicht komme ich noch bei der Schilderung der normalen Histologie der Pulpa zurück. Ich möchte zu dieser damals von mir ausgesprochenen Ansicht noch kurz bemerken, dass bei sich erst entwickelnden Zähnen auch bei einer ziemlich unsanften Behandlung respektive Schrumpfung des Präparats von einer sogenannten Weilschen Schicht nicht die Rede sein kann. In fertig entwickelten Zähnen findet man dieselbe nahezu immer. Der Mensch ist ja für derartige Beobachtungen infolge des erreichbaren hohen Alters das zweckmässigste Objekt. Doch findet sich dieselbe nach Beobachtungen von Partsch z. B. schon in den Bicuspidaten eines noch nicht erwachsenen Individuums. Aber auch in älteren Tierzähnen kommt die Weilsche Schicht vor, insbesondere bei Pferden und Ochsen. Nach meiner Meinung ist dieselbe eine Alterserscheinung des Dentinkeimes und speziell der Odontoblasten, oder besser gesagt eine Sistierung der bildenden Funktion der letzteren. Der Dentinkeim wird mit der Vollendung des Zahnbeingewebes zur persistierenden Zahnpulpa, welche von jetzt ab nur die Funktion für die Ernährung des Zahnbeingewebes hat und nur auf be-

sondere Reize hin die Funktion der Bildung wieder aufnimmt. Meine diesbezüglichen Untersuchungen ergaben folgende interessanten Thatsachen. Die Odontoblasten werden im Laufe der Vollendung des Zahnbeins immer kleiner. Besonders betrifft dies zunächst das Protoplasma des Zellleibes. Die Zellkerne rücken dann dadurch sehr hart an die ebenfalls immer geringer werdende dentinogene Substanz. Die Weilsche Schicht entsteht unter den Odontoblasten also durch allmähliches Schwinden des Zellleibes der letzteren. Dieselbe beginnt jedesmal von der Spitze der Pulpa aus sich zu entwickeln und vergrössert sich allmählich immer weiter bis zum Wurzelende des Zahnes. Hervorgerufen wird sie durch ein Einstellen der Funktionsthätigkeit der Odontoblasten. Kein Zellprotoplasma wird seitens ihrer Kerne mehr produziert. Es folgt daraus die Umwandlung des Zellleibes in dentinogene Substanz und die Umbildung dieser wieder in fertiges Zahnbein, so dass die Zellkerne nunmehr hart dem Zahnbein anliegen, wenn der Zellleib ganz verbraucht ist. Es tritt dabei ein mechanischer Zug ein, welchem das Pulpagewebe in seiner Totalität nicht folgen kann. Die Folge des Zuges ist eine Zerrung der unter den Odontoblasten liegenden Gewebspartie, und es entsteht eine nahezu strukturlose Schicht, welche aus parenchymatöser Grundsubstanz besteht, durchsetzt von Bindegewebsfibrillen und den Pulpafortsätzen der Odontoblasten. Gleichzeitig tritt aber auch eine Verkleinerung der Zellen im Pulpagewebe ein. Die Pulpafortsätze scheinen sich bei diesem Vorgange bedeutend zu verlängern, denn sie müssen die Verbindung zwischen Odontoblasten und Pulpazellen erhalten. Das Vorkommen der Weilschen Schicht ist somit nur eine natürliche Folge der Entwicklungsvorgänge der Elementarteile des Dentinkeimes, sie bedeutet das Endstadium der Zahnbeinproduktion seitens der Odontoblasten. Eine zahlreichere Anhäufung von Zellen des Pulpabindegewebes, welche als intermediäre Schicht bezeichnet wird, sieht Hoehl als Rest einer Conjugationszellenlage an; ich betrachte sie einfach als eine Verdichtung des Pulpagewebes durch das frühere Zurückweichen der Odontoblasten infolge der Zahnbeinproduktion gegen das Centrum. Wenn Hoehl sagt, dass die Weil'sche Schicht in ihrer Existenz an die intermediäre gebunden zu sein scheint, derart, dass wenn die letztere fehlt, auch die erstere nicht mehr nachweisbar ist, so hat der Autor ganz recht. So lange die Produktion des Protoplasmas des Zellleibes, welche für die Entwicklung normalen Zahn-

beins Bedingung ist, nicht aufhört, liegen die Odontoblasten ungetrennt vom übrigen Pulpagewebe. Beim Auftreten der Weilschen Schicht ist, nach dem von mir geschilderten anatomischen Bilde zu urteilen, eine weitere Produktion von Zahnbein seitens der Odontoblasten nicht mehr möglich, es sei denn, dass seitens der Zellkerne neues Protoplasma produziert werde. Ich betrachte diese verschiedenen Altersvorgänge der Odontoblasten auf Grund der dabei in Betracht kommenden histologischen Vorgänge als einen Hauptbeweis gegen die Conjugationstheorie.

An dieser Stelle möchte ich den für die Bildung der Zahnbeinzwischensubstanz folgenden grundlegenden Satz aufstellen: Die Entwicklung der Zahnbeinzwischensubstanz ist allein abhängig von dem Protoplasma des Zellleibes der Odontoblasten. Sowie die ursprünglich weiter von der Peripherie des Zahnbeinkeims liegende Rundzelle einen protoplasmatischen Zellleib gegen den äussersten Rand des Zahnkeims vorgetrieben hat, beginnt sofort die Zahnbeinbildung, welche sistiert, wenn das Protoplasma verschwindet und nur der Zellkern zurückbleibt, ein Vorgang, welcher nach dem vollendeten Ausbau des Zahnbeins normal ist.

Diese zahlreich und unabhängig gemachten mikroskopischen Beobachtungen von der Entstehung der Zahnbeinzwischensubstanz sehe ich neuerdings sich vollständig deckend mit der heutigen Theorie der Entfaltung der Anlagen, welche eine Zelle als Elementarorganismus besitzt. De Vries hat in seiner „Intracellularen Pangenesis“ festgelegt, dass die Ueberlieferung eines Charakters und seine Entwicklung verschiedene Funktionen einer Zelle sind. „Die Ueberlieferung ist die Funktion des Kernes, die Entwicklung ist Aufgabe des Protoplasmas.“ Dieser Satz enthält, auf die Entwicklung des Zahnbeins übertragen, alle obigen mikroskopischen Beobachtungen. Aus den embryonalen Rundzellen des Dentinkeimes werden erst Odontoblasten, wenn ihr Protoplasma vorhanden ist. Nur dem letzteren verdankt das Zahnbein als solches seine Entwicklung.

Wir können nun auch wohl verstehen, warum der Kern der Odontoblasten immer am entgegengesetzten Ende von der Zahnbeinbildung vorhanden ist. Bei allen formativen Vorgängen befindet sich das Protoplasma einer Zelle immer an dem Punkte der grössten formativen Thätigkeit. Wir haben gesehen, dass die Odontoblasten nur in einer Zelllage das Zahnbein produzieren. Das Zahnbein ist dadurch vor allen anderen harten Geweben des tierischen Organismus

ausgezeichnet, dass nur am einen Ende der Zelle die Produktion der Zwischensubstanz vor sich geht. Die Lage des Kerns ist dadurch schon von vornherein bestimmt.

Wenden wir uns nun zu der oben citierten neueren Arbeit von Morgenstern über den Anteil der Blutgefässe bei der Zahnbeinbildung, so hat dieselbe das grosse Verdienst, wiederum auf das in den neueren Untersuchungen meist vernachlässigte Verhalten der Blutgefässe bei der Zahnbeinbildung hingewiesen zu haben. Andererseits wurde auch ein vermehrtes Interesse für die Entstehung der zwar schon lange bekannten, aber noch wenig untersuchten sogenannten Medullarkanäle des Zahnbeins und für ein etwaiges Vorkommen von Blutgefässen im harten Zahnbein hervorgerufen. Die von Morgenstern auf der Versammlung des Centralvereins deutscher Zahnärzte 1895 vorgelegten Präparate und die Schlüsse, welche derselbe aus den Untersuchungen insbesondere von Rinds-, Kalbs- und Fischzähnen zog, waren in Bezug auf die Zahnbeinbildung so abweichender Art, dass eine Nachprüfung der gewonnenen Resultate höchst wünschenswert erschien. Auch die von Morgenstern aufgefundenen Nerven im harten Zahnbein, welche er schon bei verhältnismässig sehr schwacher Vergrösserung auffand, weichen von den Ansichten und Beobachtungen anderer Autoren durchaus ab.

Durch die Freundlichkeit Morgensterns konnte ich die Präparate teilweise aus eigener Anschauung kennen lernen, und zunächst vor allen Dingen an ihnen konstatieren, dass sie zum ersten Male wirkliche Zellen im harten Zahnbein aufwiesen, ein Umstand, von welchem v. Ebner bis dahin mit Recht behauptete, dass er noch niemals mit Sicherheit festgestellt sei. Zahlreiche Nachprüfungen an eigenen Schliffen und Schnitten überzeugten mich sehr bald, dass hier nicht etwa Kunstprodukte vorlagen. Der Einschluss von Odontoblasten in das Zahnbein sich entwickelnder Zähne von Kälbern ist zweifellos. Wenn aber Morgenstern diese Thatsache als eine Hauptstütze seiner Conjugationstheorie ansieht, so konnte ich mich weder durch seine Präparate noch durch die meinigen auch nur ein wenig überzeugen.

Bei diesem Zelleinschluss in das harte Zahnbein handelt es sich, wie ich von vornherein bemerken will, um die dritte Art der Umformung der Odontoblastenschicht infolge der Raumbeschränkung, welche die letztere erfährt, wenn die Zahnbeinentwicklung fortschreitet. Derartige Zelleinschlüsse in das harte Zahnbeingewebe kommen ausser bei den obenerwähnten Tieren

jedenfalls noch häufiger im Gebiss der Säugetiere vor. Ganz besonders schön sieht man dieselben in den immerwachsenden Zähnen der Nager; die Zähne des Kaninchens sind ein vorzügliches Objekt für die Untersuchung.

Das Prinzip des Einschlusses ist in kurzen Worten folgendes. Bei der schnell erfolgenden Zahnbeinentwicklung dieser Zähne werden einzelne Odontoblasten, weil die Elemente dieser Zellschicht sich weder schnell genug verkleinern, noch im Gewebe des Dentinkeimes genügend hintereinander ordnen können, aus der regelmässig verlaufenden Reihe herausgedrängt und in das neugebildete Zahnbeingewebe eingeschlossen. Derartige Einschlüsse von Odontoblasten in das feste Zahnbein erfolgen sehr häufig an einer Stelle, wo das Krümmungsmerkmal des von der äusseren Umrandung der Pulpa gebildeten Bogens am grössten ist. Dies ist natürlich besonders an den sogenannten Pulpahörnern der Fall. Aber auch auf Wurzelquerschnitten der einwurzeligen Zähne sieht man derartiges und zwar weitaus am stärksten an den Approximalflächen der Zähne, weit weniger an der buccalen oder labialen Seite des Querschnittes. Insbesondere bei den Zähnen der Wiederkäuer findet sich häufig eine gewaltige Ausbauchung des unteren Teiles des Dentinkeimes, ein Beweis der enormen Zellproduktion einerseits und dem sogleich zu beschreibenden Ausscheiden von Odontoblasten aus dem Zellverbande andererseits. Der Einschluss der Odontoblasten vollzieht sich nämlich im Allgemeinen in der Weise, dass die ursprünglich in einer Linie verlaufende Odontoblastenschicht sich teilweise in halbkreisförmige Ausbuchtungen formiert, und dass nun insbesondere an den Spitzen dieser Ausbuchtungen einzelne Odontoblasten in das feste Gewebe eingeschlossen werden. (Siehe Tafel VI Fig. 87.) Manchmal betrifft dies sogar eine ganze Anzahl von Odontoblasten, welche alsdann hintereinander geordnet, einen förmlichen Strang einbezogener Zellen darstellen können. (Siehe Tafel VI Fig. 88.) Ich glaube nach Befunden in meinen Präparaten annehmen zu müssen, dass dieser Einschluss von Odontoblasten nicht etwa auf die Zahnbeinbildung aktiv einwirkt, wie es Morgenstern annimmt, sondern dass im Gegenteil die eingeschlossenen Zellen für die übrige Zahnbeinbildung nahezu verloren sind. Man findet in den Zähnen der Wiederkäuer jedes Alters Strukturanomalien des Zahnbeins, welche nur allein durch Einschluss von Odontoblasten entstanden sein müssen. Sie präsentieren sich in Schliffen als

unverkalkte, im Zustande der Trockenheit nun lufthaltige und deshalb schwarz erscheinende Gewebspartien. Dieselben haben immer einen centripetalen Verlauf, im Gegensatz zu den circulär verlaufenden sogenannten Contourlinien des Zahnbeins. Diese sind eine periodisch aufgetretene mangelhafte Verkalkung der zur Zeit vorhandenen dentinogenen Substanz. Eigentümlich ist nun das Verhalten solcher in das Zahnbeingewebe einbezogener Odontoblasten, wenn sie gerade durch die z. B. in Kalbszähnen sehr häufig auftretenden Contourlinien hindurchgehen. Die mangelhafte Verkalkung der dentinogenen Substanz erscheint nämlich an dieser Stelle unterbrochen. Um den Strang von Odontoblasten hat sich ein Kalkmantel gebildet, welcher die dentinogene Substanz der Contourlinien durchsetzt. Auf Querschliffen, welche in irgend einer Weise gefärbt sind, färbt sich dieser Kalkmantel gar nicht, während die Odontoblasten intensiv tingiert erscheinen. Dies deutet darauf hin, dass die in das Gewebe eingeschlossenen Odontoblastenstränge wohl noch geeignet sind, als Leiter für abzulagernde Kalksalze zu funktionieren, dass sie dagegen keine eigentlichen Zahnbeinbildner mehr sind. Dentinkanälchen werden von ihnen jedenfalls nicht mehr formiert, sondern ihr gemeinsames Produkt ist ein nahezu strukturloser Kalkmantel, wie ihn Fig. 92 auf Tafel VIII sehr deutlich darstellt.

Das beschriebene Hineinziehen von Odontoblasten in das feste Zahnbein findet sich im Allgemeinen fast nur bei einer schnellverlaufenden Entwicklung desselben; im normalen menschlichen Zahne ist dasselbe selten. Es gab jedoch Morgenstern Veranlassung, ein derartiges Vorkommnis als Nerven im harten Zahnbein zu beschreiben. Im Ersatzdentin menschlicher Zähne findet sich ein Einschluss von Odontoblasten schon häufiger. Dasselbe ist bekanntlich eine Folge einer Reizung bei der Caries oder der Abnutzung der äusseren Zahnbeinschichten; es wächst viel schneller, aber auch unregelmässiger wie das normale Zahnbein. Die Zahnbeinbildung, welche in dem fertig entwickelten Zahne nahezu sistierte, wird dabei durch die von aussen kommenden Reize von den Odontoblasten wieder aufgenommen. Man findet öfters in diesem Ersatzdentin längliche, walzenförmige Hohlräume, welche in frischen Präparaten Odontoblasten enthalten.

Aussprengungen der Odontoblasten in den Schmelz an der Spitze des Zahnkeimes kommen bei den menschlichen Zähnen vor, und geben zu den früher beschriebenen kolbenförmigen Fortsätzen Veranlassung. Fig. 89 auf Tafel VI zeigt bei o^1 einen Odontoblast

mit Dentinfortsatz weit in die Schmelzzellen hinein gelagert. In Fig. 90 sind solche Odontoblasten in Kalbszähnen bei stärkerer Vergrösserung dargestellt.

Die immerwachsenden Backenzähne einiger Nager zeigen wohl die schönsten Formen der Kalkmäntel, welche sich um die in das Zahnbein strangförmig einbezogenen Odontoblasten bilden. Fertigt man z. B. einen Querschliff von dem Backenzahne eines Kaninchens, so kann man die Kalkmäntel in Reihen nebeneinander geordnet erkennen. (Siehe Tafel VIII Fig. 93.) Dieselben sind in dem festen Zahnbein gelagert wie die Finger einer Hand, welche etwas ausgespreizt sind. Eine solche Reihe bedeutet jedesmal die Bildungsaxe für das Zahnbein eines Zahnsectors. Ich erkläre diese reihenförmige Anordnung einerseits durch die enorm schnell verlaufende Zahnbeinbildung der immerwachsenden Zähne; letztere erfolgt aber auch andererseits und zwar in grossem Umfange der Bildungsachse eines jeden Zahnsectors, welche in diesen Zähnen eine Ebene bildet, nahezu parallel. Infolge dessen ist der Einschluss von Odontoblasten weit eher möglich, als bei wurzeltragenden Zähnen, bei welchen die Dentinbildung im Längsschnitt betrachtet immer dachförmig erfolgt, und ein allmähliches Zurückweichen der Odontoblasten leichter zu Stande kommt. Der trockene Schliff zeigt die Kalkmäntel als röhrenförmige Gebilde, welche Luft enthalten; teilweise liegen dieselben so hart aneinander, dass das entsprechende Dentinsystem in zwei Hälften getrennt erscheint. Bei starken Vergrösserungen zeigen die Kalkmäntel im Querschnitt nicht selten einen schwach lamellösen Bau, ein Zeichen, dass die Kalkablagerung in den Kalkmänteln allmählich centralwärts vorschreitet. (Siehe Tafel VIII Fig. 93.)

Es ist nicht einerlei, an welcher Stelle des Zahnes der Querschliff gemacht wird. Ein trockener Schliff, welcher möglichst von der Kaufläche eines jüngeren Backenzahnes stammt, lässt häufig nur Andeutungen derartiger röhrenförmiger Kalkmäntel erkennen, sie sind oft ganz geschlossen, so dass nur weisse Flecken im eigentlichen Zahnbein sichtbar sind. In Serienschnitten, welche von der Spitze eines Backenzahnes zur Wurzel im Querschnitt gelegt werden, kann man die allmähliche Verbreiterung der in das Zahnbein einbezogenen Odontoblastenstränge sehr schön beobachten. Der ganze Vorgang muss nach diesen Ausführungen als eine allmähliche von der Peripherie ausgehende Verkreidung dieser Odontoblasten aufgefasst werden. Figur 91

auf Tafel VIII zeigt bei hoher Vergrösserung die in Schrumpfung begriffenen Odontoblasten, welche in dem Kalkmantel eingeschlossen sind. Sie scheinen keinen Zellleib mehr zu besitzen. Für die Annahme spricht auch das Verhalten derselben in den äusseren Enden der Kalkmäntel bei Tinktionen. Das Färbungsvermögen derselben verliert sich hier nämlich nahezu ganz, obgleich man die Zellcontouren noch häufig angedeutet findet. Auf Längsschliffen, welche genau in der Richtung der Kalkmäntel geführt sind, sieht man ungefähr dieselben Verhältnisse; häufiger ist das Lumen derselben an einzelnen Stellen durch Querwände geschlossen, auch kugelförmige Ablagerungen von Kalksalzen kommen vereinzelt vor. Es ist dadurch ein Abschluss des Pulpagewebes nach aussen hin gegen die sich fortwährend abnutzende Kaufläche gesichert. Denn bei den Zähnen älterer Nager wird durch die Abnutzung des Zahnes eine vollständige Blosslegung der röhrenförmigen Kalkmäntel hervorgerufen.

Die Entwicklung des Zahnbeins bei den immerwachsenden Zähnen der Nager erfolgt also seitens der Pulpa scheinbar in ganz anderer Form. Im embryonalen Zustande unterscheidet sich die Pulpa eines solchen Backzahnes in ihrer Anlage durchaus nicht von derjenigen eines wurzeltragenden Zahnes. Die Verhältnisse ändern sich sofort, wenn die Dentinbildung aufgenommen wird. Durch das schnelle Fortschreiten der letzteren wird die Pulpa auf einen möglichst kleinen Raum zusammengedrängt, und da die Bildung von der Spitze bis nahe zur Umbeugungsschlinge des Schmelzorganes fast gleichzeitig anfängt und fortschreitet, wird der Zahnbeinkeim auf die Achsen der Sectoren des Zahnes zusammengedrängt. Es findet also ein ähnlicher Vorgang nur in viel stärkerem Massstabe statt, wie ich ihn schon bei der Betrachtung von Kalbszähnen erörterte. Die Odontoblasten ordnen sich infolge der entstehenden Raumbeschränkung ebenfalls bogenförmig an. Die Spitzen der Bogen werden nur infolge der Schnelligkeit des Wachstums noch weit mehr ausgezogen, und die in den Spitzen der Bogen enthaltenen Odontoblasten, welche meist in mehrfacher Lage liegen, strangförmig in das Gewebe eingeschlossen. Die weitere Zahnbeinbildung geschieht insbesondere durch die zwischen den Strängen liegenden und mit dem übrigen Pulpagewebe noch zusammenhängenden Odontoblasten, während die das feste Zahnbeingewebe durchsetzenden Odontoblastenstränge von der Peripherie aus verkalken und nur den nahezu strukturlosen Mantel formieren. Die hart unter der Odontoblastenschicht ziehenden Pulpagefässe werden nach meinen Beobachtungen jeden-

falls höchst selten in das harte Zahnbein mit eingeschlossen; ich sah dasselbe niemals, diesbezügliche Färbungen ergaben in den weitaus meisten Fällen nur das Vorhandensein von Odontoblasten. In grossen, mehr zufälligen Abzweigungen fand ich zwar Gefässe, welche die nun an sich grössere Menge des Pulpagewebes in normaler Weise versorgten. Jedenfalls kann man aber nicht von einem Vorhandensein eines wirklichen Vasodentins, wie es von vielen Autoren in den Nagethierzähnen u. s. w. angenommen ist, sprechen. Die Blutgefässe des Dentinkeimes haben an der Bildung des Zahnbeins keinen unmittelbaren Anteil. — Wohl zu unterscheiden von diesem alleinigen Einschluss der Odontoblasten in das feste Zahnbein sind Teilungsvorgänge der Pulpa in Form von sogenannten Hörnern, welche Vorsprünge des Centralkörpers sind, und aus der Gestaltung der Zahnform entspringen. Dieselben enthalten neben den Odontoblasten sämmtliche übrigen histologischen Elemente des Dentinkeimes, also auch Blutgefässe. Sie bilden gleichsam ein Dentinsystem für sich, formieren ein ganz normales Zahnbein, genau wie die übrige Pulpa, und sind Abschnitte des selbständigen Organes mit unveränderten Funktionen. Hier finden sich auch immer Gefässe und Nerven.



Fig. 94. Schema der Odontoblasten in der Entwicklung. Links ein isolierter Odontoblast.

Meine aufgeführten Untersuchungen über die Zahnbeinbildung sprechen sehr zu Gunsten der von v. Ebner aufgestellten Theorie und der ersten Hälfte seines im Eingange dieser Arbeit erwähnten Satzes: „Die Grundsubstanz des Zahnbeins mit ihren leimgebenden Fibrillen und den weiteren Differenzierungen geht aus einer Umbildung von lebendem Protoplasma hervor.“ Der von mir erbrachte Nachweis der Formveränderungen der Odontoblasten infolge der auftretenden Raumbeschränkung, des allmählichen Verbrauches des protoplasmatischen Zellleibes und anderer in der Arbeit erwähnten histologischen Veränderungen erachte ich für wichtige Beweisstücke. In Fig. 94 gebe ich die Umformung der Odontoblasten schematisch wieder. Fig. 95 auf Tafel VIII zeigt die Verhältnisse im fertig entwickelten Zahnbein *z*; die Odontoblasten liegen mit ihren Kernen dicht an der dentinogenen Substanz *d*, und verharren lange Zeit in diesem Stadium.

Bemerkenswert und noch nicht berücksichtigt ist die Entstehung von Fibrillen zwischen den Odontoblasten. Die von Hoehl beschriebenen feinen Fasern zwischen den Odontoblasten sind schon von v. Ebner (Scheffs Handbuch der Zahnheilkunde Band I, Seite 245) erwähnt, und von diesem ausgezeichneten Forscher „als feine sich durchkreuzende Züge von Fibrillen zwischen den dem Zahnbein zugewendeten Enden der Odontoblasten, welche der ganzen Anordnung nach den leimgebenden Fibrillen entsprechen“ beschrieben. Mit Hilfe der Mikrophotographie konnte ich anfangs 1895 (Siehe Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1895, 5. Heft) nachweisen, dass diese sehr feinen Fasern zwischen den Odontoblasten in die Intercellularsubstanz des harten Zahnbeins übertreten, und meinte, die vielgesuchten Nerven des letzteren damit gefunden zu haben. Letzteres nahm auch Röse später an. (Zahnärztliche Rundschau 1895.) Doch konnte ich mich sehr bald überzeugen, dass diese Fasern keine Nervenendigungen sind, und schliesse mich nun durchaus der Meinung v. Ebners an, welcher dieselben für unverkalkte leimgebende Fibrillen erklärt. Dieselben liegen den Odontoblasten dicht an und werden durch den Schnitt teilweise von denselben abgehoben. Solche Dinge hat seiner Zeit auch wohl Boll vor sich gehabt und die Fäserchen für Nerven gehalten, weil man damals noch nicht wusste, dass das Zahnbein eine fibrilläre Struktur besitzt und dass die Fibrillen schon vorhanden sind, ehe die Verkalkung beginnt, ganz so wie beim Knochen. Auch Mummery sah wohl ähnliches schon. Im übrigen verweise ich auf das achte Kapitel der vorliegenden Arbeit, welches den Gegenstand ausführlich erörtert.

Siebentes Kapitel.

Formierung der Zahnbeingrundsubstanz.

Wir kommen nun zur Besprechung der Umwandlung des Protoplasmas, welches den Zellleib der Odontoblasten bildet und die Grundsubstanz des Zahnbeins formiert. Wie Intercellularsubstanzen im allgemeinen entstehen, darüber haben wir bisher durch die allgemeine Anatomie und Physiologie der Zelle keinen genügenden Aufschluss. Auch hier stehen sich wieder zwei Theorien gegenüber. Nach der einen ist die Zwischensubstanz ein Umwandlungsprodukt des Protoplasmas, nach der anderen aber ein Abscheidungsprodukt derselben. Man spricht im allgemeinen, wie O. Hertwig sehr treffend gesagt hat, „von einer formativen Thätigkeit des Protoplasmas bei der Bildung von Intercellularsubstanz, ohne dass man den Vorgang genauer kennt.“ Die Auffindung der feinen v. Ebnerschen Fibrillen in der fertigen Grundsubstanz, das Auftreten solcher in der Zwischensubstanz zwischen den Odontoblasten, die Vermehrung dieser Zwischensubstanz im Moment der grössten formativen Thätigkeit des Protoplasmas deuten darauf hin, dass sich hier besondere Vorgänge vollziehen, deren Deutung allerdings mit den heutigen mikroskopischen Hilfsmitteln noch nicht als genügend erachtet werden kann. Wir müssen uns vorläufig mit der Annahme begnügen, dass diese feinen Fäden die Träger respektive die Bahnen des Stoffwechsels in der zu formierenden Grundsubstanz sind. Die Vermehrung der Zwischensubstanz zwischen den Odontoblasten ist jedenfalls der Vermittler, ja sogar der Träger der sich vollziehenden Umwandlung des Protoplasmas in Zahnbeingrundsubstanz. Unterstützt wird diese Anschauung dadurch, dass in älteren Zähnen mit der zunehmenden Vermehrung der Kalksalze die Fibrillen undeutlich werden. Es entspricht dieser Vorgang den Ansichten mancher Tierphysiologen. Kassowitz z. B. sagt über das Wachstum der Intercellularsubstanzen, dass letztere eine continuierliche protoplasmatische Grund-

lage besitzen müssen, in welcher Partikel der durch den Zerfall des lebenden Protoplasmas gebildeten Substanzen discontinuierlich angeordnet sind. Soweit die mikroskopische Forschung auf dem Gebiete der Zahnbeinentwicklung den neuen Theorien über das Zellleben folgen konnte, scheinen die erhaltenen Resultate sich durchaus zu decken. Ich zeigte im Vorhergehenden, dass die Bildung der Intercellularsubstanz des Dentins im engsten Zusammenhange mit dem Protoplasma des Zellleibes der Odontoblasten und der von diesem neu gebildeten Zwischensubstanz, welche man noch vorläufig dem Pulpagewebe zurechnen muss, stehe. Wir sehen als Produkt der Thätigkeit die erste Vorstufe des Zahnbeins entstehen, nämlich die dentinogene Substanz (membrana präformativa der alten Autoren). Bei geringeren Vergrösserungen zeigt sich dieselbe als eine hellglänzende, gleichförmige, strukturlose Schicht, in welcher man erst allmählich die Dentinkanälchen als blasse Fäden erkennt. Die gewöhnlichen Färbungen wirken selbst bei entkalkten Zähnen kaum auf dieselbe ein, nur Hämatoxylin lässt die Dentinfortsätze der Odontoblasten ein wenig stärker hervortreten. Gegen die letzteren ist die dentinogene Substanz meist scharf begrenzt. Die Breite dieser ist durchaus abhängig von der augenblicklichen Zahnbeinproduktion des Zellleibes der Odontoblasten. Am äusseren Rande der dentinogenen Substanz geht die Verkalkung durch Bildung kleiner Kugeln vor sich, welche nicht immer am schon gebildeten Zahnbein sofort wandständig sind. (Siehe Tafel VIII Fig. 95.) Diese Kugeln sind wie das fertige Zahnbein nach der Entkalkung Farbstoffen sehr zugänglich. In der dentinogenen Substanz sind, wie ich schon im Kapitel über das fertige Zahnbein beschrieb, noch keine Zahnscheiden vorhanden. Mittels der Methode von Golgi kann man jedoch nachweisen, dass feine Seitenzweige der Dentinfasern in der dentinogenen Substanz liegen, welche meines Erachtens die späteren Seitenkanälchen der Dentinfortsätze sind. Hoehl fand in Präparaten, welche nach der Methode von Ciacglinski hergestellt wurden, dass die Zellen der Pulpa gleichsam in einem feinen blauen Netze schwebten. (Siehe Fig. 84.) „Dieses Netz steht mit der dentinogenen Substanz so in Verbindung, dass die Fäden zwischen dem peripheren Ende der Odontoblasten konisch auszulaufen scheinen unter Auflösung in feinste, sich durchkreuzende Fäserchen.“ Mir scheinen diese Fäden den auf Seite 118 erwähnten zu gleichen. Hoehl lässt allerdings die Frage offen, ob die von ihm gesehenen Fasern mit den in noch unverkalktem Dentin auftretenden leimgebenden

Fibrillen v. Ebners identisch sind. Der letztere Autor nimmt dieses im Köllikerschen Handbuch als sicher an. Jedenfalls stehen sie wohl im engsten Zusammenhang mit der Bildung der Membrana präformativa oder der dentinogenen Substanz. Wenzel hat übrigens in der letzteren, insbesonders bei den Nagern schon ähnliches gesehen. Nach meinen Beobachtungen scheinen die zwischen den Odontoblasten durchtretenden Fäserchen in der dentinogenen Substanz einen mehr wagerechten Verlauf anzunehmen. Dichotomische Teilungen derselben habe ich hier mit Sicherheit beobachtet. (Vergleiche Tafel VIII Fig. 108.)

Als auffallend möchte ich es hier noch bezeichnen, dass die erste Zahnbeinbildung ohne die Vorstufe der dentinogenen Substanz vor sich geht. (Vergleiche Tafel VII, III.) Das neugebildete Zahnbein färbt sich somit sofort auf Zusatz von Farbstoffen, wie Safranin, Hämatoxylin. Sowie jedoch die Produktion von Zwischensubstanz zwischen den Odontoblasten aufgenommen wird, sehen wir die neugebildete Dentinsubstanz schwerer färbbar und damit zur eigentlichen dentinogenen Substanz werden. Diese Zone wird immer breiter und ist dann vorläufig noch nicht so scharf gegen das verkalkende leicht färbbare Zahnbein abgesetzt. Die scharfe Begrenzungslinie, wie sie von vornherein gegen die Odontoblastenschicht vorhanden ist, bekommt die dentinogene Substanz erst in einem späteren Stadium, wenn die Zahnbeinbildung langsamer fortschreitet. Dann hat die dentinogene Substanz auch eine ziemlich constant bleibende Breite, welche während der ganzen weiteren Entwicklung des Zahnbeins inne gehalten wird. Nun tritt auch die erwähnte Kugelbildung am Rande des verkalkenden Zahnbeins auf.

Darnach entwickelt sich die Zahnbeingrundsubstanz in der Weise, dass bei der ersten Bildung der Zellleib der Odontoblasten sich mit seiner ganzen äusseren Fläche allein beteiligt, und das Protoplasma desselben sich baumförmig verzweigend direkt die Zahnbeinbildung aufnimmt. Auf diese Weise wäre die Bildung der zahlreichen Verzweigungen der Dentinkanälchen an ihrem peripheren Ende zu erklären. Bald aber produziert der Zellleib auch seitlich Zwischensubstanz zwischen den Odontoblasten. Sie wird zur Vorstufe für die dentinogene Substanz, und die äussere Fläche der Odontoblasten dient nun im wesentlichen noch dazu, die Verbindung mit dem gebildeten Zahnbein aufrecht zu erhalten. Die Formation der dentinogenen Substanz wird dann fast nur durch die Zwischensubstanz zwischen den Odontoblasten geschehen. Die Dentinfasern produzieren nur noch Zahnbein auf Kosten ihrer

Grösse an der Peripherie, indem sie zunächst Zahnscheiden bilden, welche sich sehr bald in verkalkte Grundsubstanz umwandelt. Die folgenden vitalen Vorgänge habe ich im fünften Kapitel ausgiebig erörtet.

Als wichtiges Ergebnis für die allgemeine Histologie erscheint mir der geschilderte Aufbau der Zahnbeinintercellularsubstanz, vor allem die wechselseitigen Beziehungen des Zellprotoplasmas zur Vorstufe des fertigen Zahnbeins in Bezug auf Grösse der Produktion. Nicht allein dieser Umstand, sondern auch der ganze Verlauf der Zahnbeinbildung scheint mir der direkte Beweis für die von M. Schultze 1861 aufgestellte Behauptung, dass der grösste Teil der Intercellularsubstanzen im allgemeinen aus umgewandelter Zellsubstanz, d. h. aus Protoplasma entstehe. Die Bildung des Zahnbeins scheint infolge der nahezu einseitigen Ausbildung der Zwischensubstanz ohne Einschluss der Protoblasten eines der besten Objekte für die Untersuchung dieser Vorgänge zu sein. Sie unterscheidet sich nach meinen Beobachtungen und der vorliegenden Darstellung nicht so wesentlich von der Bildung des Schmelzes, wie sie von anderen Autoren angenommen werden musste.

Interessant ist es, hier die Bemerkungen Köllikers über die Entwicklung der Intercellularsubstanzen im allgemeinen heranzuziehen und mit den vorliegenden Resultaten zu vergleichen. Kölliker sagt in seinem Handbuch der Gewebslehre darüber folgendes: „Bezüglich der Entwicklung der Intercellularsubstanzen könnte aus dem Umstande, dass in vielen Knorpeln die früheren Mutterzellen zur Erzeugung einer gleichartigen Zwischenmasse verschmelzen, die Vermutung abgeleitet werden, dass auch an anderen Orten eine solche unmittelbare Beteiligung der Zellen an der Bildung derselben statt hat. Dies wird jedoch von der Erfahrung nicht bestätigt, vielmehr ergibt sich, dass an anderen Orten die Zellen zu der Intercellularsubstanz nur in entfernter Beziehung stehen, in welcher, ist schwer mit Bestimmtheit zu sagen. Da alle fraglichen Bildungen, wie ihr Name ausdrückt, zellige Elemente enthalten und die Beteiligung solcher an der Bildung fester, ausserhalb von ihnen gelegener Stoffe durch das häufige Vorkommen von Zellabscheidungen von bestimmter Gestalt feststeht, so möchte die Auffassung, dass die Intercellularsubstanzen wesentlich unter dem Einfluss der Zellen sich bilden, manches für sich haben. Dieser Satz ist jedoch nicht so zu verstehen, als ob die Zellen die zwischen ihnen gelegenen Teile ganz und gar aus

sich erzeugten, denn es ist klar, dass dieselben in vielen Fällen in erster Linie von aussen her (z. B. vom Blute her) bezogen werden, derselbe besagt vielmehr nur soviel, dass die Zellen einerseits einen wesentlichen Einfluss auf die chemische Beschaffenheit der Intercellularsubstanzen besitzen, deren Stoffe ja als solche im Blute sich nicht finden, andererseits aber auch die Form bedingen, in der die Zwischensubstanz auftritt.“

Ich meine demgegenüber, dass nach meiner vorliegenden Darstellung zum mindesten die grösste Abhängigkeit der Bildung der Zahnbeinzwischensubstanz von dem Zellprotoplasma angenommen werden muss, und möchte für die Zahnbeinbildung nach meinen Beobachtungen den Satz aufstellen: Die Menge des neuzubildenden normalen Zahnbeins ist durchaus abhängig von der Grösse des vorhandenen Zellprotoplasmas der Odontoblasten.

Achtes Kapitel.

Die Zahnpulpa.

Die Entwicklung des Zahnbeins durch den embryonalen Zahnbeinkeim schreitet bis zum Durchbruch der Zähne verhältnismässig schnell fort. Dann tritt eine Verlangsamung des Verzahnungsprozesses ein, zunächst in der Krone, später auch in der Wurzel, wenn die äussere Form derselben fertiggestellt ist. Der fortbestehende Rest des Bildungskeimes bleibt das Ernährungsorgan für das Zahnbein während des ganzen Lebens. Denn es wird seitens der Zahnpulpa, wie man nun das weiche Organ im Innern der Zähne nennt, im Laufe der Zeit Zahnbein, wenn auch in weit geringerem Masse als ursprünglich weitergebildet, bis durch Alterserscheinungen in dem Gewebe die Produktion von Zahnbein ganz eingestellt wird. Zur stärkeren, erneuten Thätigkeit kann sich allerdings eine Pulpa wieder aufraffen, wenn ein äusserer Reiz sie anregt.

Die Zahnpulpa besteht ja zunächst der Hauptsache nach aus myxomatösem Bindegewebe, in welchem sich zunächst embryonale Rundzellen befinden, welche später Fortsätze in mehrfacher Anzahl aussenden. Wenn aber die Zahnbeinbildung vollendet ist, treten auch Bündel von fibrillärem Bindegewebe auf, jedoch findet man keine elastischen Fasern. Die Bindegewebszellen folgen im allgemeinen dem Verlauf der zahlreich in der Pulpa enthaltenen Gefässe und Nerven. Die Zwischensubstanz der Pulpa erscheint nicht selten im späteren Alter fein granuliert. Lange Ausläufer der in dem Pulpagewebe liegenden Zellen täuschen unter Umständen eine Streifung vor, gewöhnlieh ziehen jedoch die Ausläufer nach allen Richtungen durcheinander. Röse erklärt auf diese Weise die Struktur des Pulpakörpers. v. Ebner hält die Fäserchen, mit welchen das Bindegewebe der Pulpa durchsetzt ist, dagegen für leimgebende Fibrillen. Ich glaube, dass beides an dem Aussehen des Pulpakörpers beteiligt ist. Nicht selten finden sich in der Grundsubstanz kleine Ablagerungen von Kalksalzen, welche aus kleinen ovalen oder spindelförmigen Massen

bestehen und zwar zumeist in älteren, sonst aber ganz gesunden Zähnen. (Dentikelbildungen.) Nach der Peripherie der Pulpa hin sind die Bindegewebszellen etwas grösser, und an der Oberfläche der Zahnpulpa befinden sich in ganz jungen Zähnen die Zahnbeinzellen (Odontoblasten) wie eine Epithelschicht anfangs in einer Lage nebeneinander. Schon John Tomes gab in seinem System der Zahnheilkunde beistehende Abbildung, welche die Odontoblasten einer fertigen Pulpa sowohl isoliert als wie zusammenhängend darstellt. Wenn die Zahnbeinbildung schon weiter fortgeschritten ist, werden die Odontoblasten kleiner, es liegen meistens dann scheinbar verschiedene Reihen hintereinander, wie ich es bei der Entwicklung des Zahnbeins näher dargestellt habe. Die Lagerung der Odontoblasten hintereinander zu mehreren Schichten ist schon von den älteren Autoren beobachtet und hat zur Benennung „Membrana eboris“ geführt. Fig. 96 auf Tafel VIII gibt das normale Bild eines Querschnittes der Pulpa bei geringer Vergrösserung. *o* ist die Odontoblastenschicht, *n n* sind grössere Nervenstämme, *a* eine starke Arterie und *v* eine grössere Vene. Die auftretenden Formveränderungen der Odontoblasten habe ich bei der Entwicklung des Zahnbeins ausführlich behandelt.

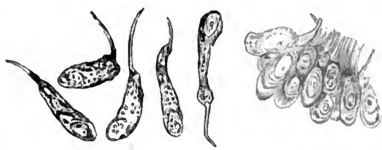


Fig. 97.
Isolierte Odontoblasten nach John Tomes.

Ein wichtiger Bestandteil sind mehr oder weniger grosse Ausläufer der Zahnbeinzellen. Letztere haben drei Arten von Fortsätzen: die Dentinfortsätze, die seitlichen Fortsätze und die Pulpafortsätze. Die Dentinfortsätze (Tomessche Fortsätze, Dentinfasern) wurden schon bei dem Bau des Zahnbeins näher erörtert. Die seitlichen Fortsätze sind nur in den ersten Stadien der Entwicklung an Isolationspräparaten zu sehen, sie wurden zuerst von Waldeyer entdeckt, Kollmann Mühlreiter, Baume und Röse konnten sie überhaupt nicht auffinden. Wenzel dagegen hat schon die Waldeyersche Angabe bestätigt und die Anzahl der seitlichen Fortsätze auf 2 bis 4 festgesetzt, eine Angabe, welche ich bestätigen kann. Allerdings fand auch ich die seitlichen Ausläufer nur an Isolationspräparaten und zwar von der ersten Zahnbeinbildung herrührend. (Vergleiche Fig. 84.) Wenn die Odontoblasten die birnenförmige Gestalt an-

genommen haben, scheinen die seitlichen Ausläufer zu verschwinden. Wahrscheinlich hängen die seitlichen Fortsätze der Odontoblasten eng mit der Bildung der Zahnbeingrundsubstanz zusammen. Die Pulpafortsätze sind stärker als die seitlichen und sind wohl nur in der Einzahl vorhanden.

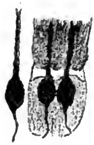


Fig. 99. Schema der Odontoblasten bei fertigem Zahnbein. Links ein isolierter Odontoblast.

Der Kern des Odontoblasten liegt immer nach der Pulpa zu, in älteren Stadien als Kugel oder Ei in der bauchigen Anschwellung desselben, das umgebende Protoplasma ist dann im Gegensatz zu den früheren Zellformen sehr gering und feinkörnig. Waldeyer, Kollmann und Boll haben schon die frühere Annahme von Hertz u. A. widerlegt, dass die Odontoblasten eine besondere Umhüllungsmembran besässen.

Seit dem Erscheinen der Schriften dieser Autoren waren lange Zeit weitere histologische Einzelheiten der Pulpa nicht bekannt geworden, bis Weil im Jahre 1887 die schon bei der Entwicklung des Zahnbeins erwähnte, bemerkenswerte Thatsache aufdeckte, dass unmittelbar unter der Odontoblastenlage eine besondere Schicht der Pulpa vorkommt, welche vollkommen zellenlos erschien. Weil beschrieb sie folgendermassen: „Die Schicht enthält gar keine zelligen Elemente oder Kerne, sie erscheint vielmehr als ein Geflecht äusserst feiner Fibrillen, die nicht senkrecht die Schicht durchsetzen, sondern, schräg gegen die tieferen Lagen laufend, sich untereinander in gekreuzter Weise durchflechten. Diese Fibrillen zeigen keinerlei Anschwellungen. Mit vollster Sicherheit lässt sich sagen, dass sie aus den in Fortsätze auslaufenden Basalenden der Odontoblasten entspringen. Dabei ist vor allem auffallend, dass diese Ausläufer die Achsenrichtung der Odontoblasten nicht bewahren, sondern sich nach der einen oder anderen Richtung seitwärts wenden, dadurch eben die Kreuzung bedingen. Ich wüsste diese

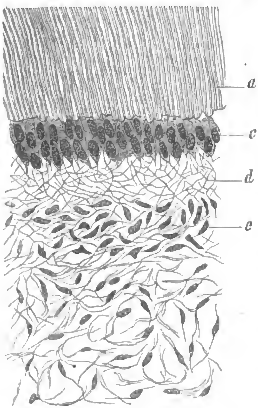


Fig. 100. Die Histologie der Zahnpulpa nach Weil.
a Dentin,
c Odontoblasten,
d Zellfreie Schicht (Weilsche Schicht),
e Intermediäre Schicht, darunter normales Pulpagewebe.

Schicht mit keiner andern, in der Histologie bekannten, zu vergleichen, als mit den sogenannten Basalmembranen, die ja in verschiedenen Häuten, wie äussere Haut, Schleimhäute, die Grenze zwischen Epithel und Bindegewebe bilden."

Ich gebe in Figur 95 und 98 auf Tafel VIII die Weilsche Schicht photographisch wieder. Sie ist in diesen Figuren mit *w* bezeichnet.

Den Aeusserungen Weils traten einige Autoren z. B. Mummery, Partsch durchaus bei, andere wie v. Ebner und besonders Röse erklärten diese zellfreie Schicht als ein durch Schrumpfung der inneren Pulpateile entstandenes Kunstprodukt. v. Ebner glaubte die Schrumpfung (Oesterr.-Ungar. Vierteljahrsschrift für Zahnheilkunde 1891) so erklären zu können, dass die Odontoblasten mittels der Zahnfasern am Zahnbein gut fixiert seien. Sie könnten daher, wenn die inneren Pulpateile bei Anwendung der Weilschen Methode sich zusammenziehen, sich nicht wohl losreissen. Aber gerade die unter den Odontoblasten gelegene Schicht würde sich dem Mittelpunkt der Pulpa zu nähern suchen, und ehe es zu einer Zerreissung kommt, würden die Gewebselemente, welche die Verbindung der Odontoblastenschicht mit den unterliegenden Pulpateilen herstellen, stark gedehnt werden. Diese Gewebselemente seien vorzugsweise Fasern, und auf diese Weise könne künstlich eine vorher nicht vorhandene besondere Faserschicht auftreten. v. Ebner hat nach seiner Angabe allerdings selbst keine Versuche mit der Weilschen Methode gemacht. Röse schrieb in der deutschen Monatsschrift 1892 u. a. folgendes: „Will man nach der v. Kochschen Versteinerungsmethode zuverlässige Präparate erzielen, so ist es absolut unzulässig, bei 70 ° C. oder gar bei 90 ° C. einzudampfen. Bei einer solchen Prozedur ist, wie jeder denkende Histologe einsehen muss, eine sichtbare Schrumpfung der Gewebe unvermeidlich. Da nun die Odontoblasten fest mit der starren Dentinkapsel zusammenhängen und die centralen Pulpateile sich contrahieren, so muss naturgemäss die Schrumpfung am stärksten an der Peripherie der eigentlichen Pulpa zu Tage treten. Die in Wirklichkeit den Odontoblasten angelagerten Zellen werden centralwärts verzogen, nur die festeren Bindegewebsfibrillen, die Ausläufer der Odontoblasten zu den Pulpazellen leisten Widerstand; sie werden zwar gedehnt aber nicht zerrissen. So entsteht als Kunstprodukt die sogenannte Weilsche Schicht." Diesen Ausführungen trat Weil wiederholt entgegen, ohne allerdings wesentlich neue Gründe für seine Anschauung vor-

bringen zu können. v. Ebner hat auch in der neuesten Auflage des Köllikerschen Handbuches der Gewebelehre die Weilsche Schicht als ein Trugbild erklärt, welches durch Schrumpfung der Pulpa bei gleichzeitiger Fixierung des Odontoblasten an der inneren Oberfläche bedingt wäre. An vorsichtig entkalkten Zähnen wäre dieselbe nicht zu finden.

v. Ebner und Röse haben nun im wesentlichen offenbar jüngere Zähne zu ihren Präparaten verwendet, während Weil das Umgekehrte that. Wenn man Zähne aller Altersklassen untersucht, wird man die Weilsche Schicht nicht für ein Kunstprodukt erklären können. Nach meinen Beobachtungen findet man schon nach vollendetem Durchbruch der bleibenden Zähne Anfänge der Bildung einer strukturlosen Schicht unterhalb der Odontoblastenlage. Die Weilsche Schicht vergrössert sich dann von der Spitze der Pulpa nach der Wurzel zu mehr und mehr. Bei älteren Individuen findet man die Weilsche Schicht immer, auch wenn die Präparation noch so sorgfältig eingeleitet wurde. Die beiden Abbildungen, welche ich zur Illustration der Weilschen Schicht bei der Entwicklung des Zahnbeins auf Tafel VI Fig. 85 und 86 gebe, erläutern das Schwinden des protoplasmatischen Zellleibes so deutlich, dass wohl kaum noch jemand den engsten Zusammenhang der Entstehung der Weilschen Schicht durch diesen Schwund allein leugnen wird.

Ueber die physiologische Bedeutung der Fortsätze der Odontoblasten möchte ich meine Meinung dahin ausdrücken, dass die Dentinfortsätze im wesentlichen zur Ernährung des fertigen Dentins, hingegen die seitlichen Fortsätze zur Bildung der Zwischen substanz der Odontoblasten und die Pulpafortsätze zur Verbindung mit den Bindegewebszellen des Pulpakörpers dienen. Ihre Formen passen sich den jeweiligen Funktionsbedürfnissen durchaus an.

An der Spitze der Wurzel treten die Blutgefässe und Nerven in ziemlicher Anzahl in das Pulpagewebe ein. Die Arterien teilen sich sehr bald in feinere Zweige, indem sie nahezu senkrecht mehr in der Mitte der Pulpa aufsteigen, und dann sich seitlich in zahlreiche Capillaren auflösen, welche an der Odontoblastenschicht umbiegend, sich allmählich wieder zu grösseren Venen vereinen. Das Capillarnetz reicht in menschlichen Zähnen normaler Weise keinenfalls bis in die Odontoblastenlage. Ist die Weilsche Schicht vorhanden, so erscheinen die Gefässe immer unterhalb derselben. Bei Zähnen selbst höher organisierter Tiere treten dagegen die Capillaren besonders bei der Entwicklungsperiode

zwischen die Odontoblasten ein. Man vergleiche Tafel VIII Fig. 111, welche die Spitze des Schneidezahnes eines jungen Hundes darstellt. Die Gefässe reichen bis zum Dentin. Der Verlauf der Capillaren ist spitzbogig. Die Struktur der gesammten Gefässe weicht in der Zahnpulpa nicht von der allgemeinen Form ab.

Im Verlaufe eng verbunden mit den Gefässen sind die Pulpanerven, welche durch die Wurzelspitze gewöhnlich als ein dickerer Stamm und zwei bis vier feinere Zweige eintreten und sich mit den Blutgefässen über das Pulpagewebe verteilen. Mehr nach der Kronenpulpa zu lösen sich die Stämme allmählich in ein Geflecht von unzähligen Nervenfasern auf, welche bis zu der Odontoblastenschicht sich erstrecken und mit Sicherheit teilweise zwischen die Odontoblasten treten. Die grösseren Blutgefässe sind teilweise, wie Weil nachgewiesen hat, in Furchen der Nervenstämmchen eingelagert.

Die Frage der Nervenendigungen in der Pulpa war von jeher eine der brennendsten, und nahezu jeder Forscher in der Histologie der Zähne hat sich wohl auf diesem Gebiete versucht. Die Empfindlichkeit des harten Zahnbeins, wie sie sich insbesondere beim Auftreten von Caries zeigt, war bisher mit Sicherheit nicht in ihren einzelnen Ursachen zu erklären. Der erste, welcher wirkliche Nervenfasern zwischen den Odontoblasten hindurch in das Zahnbein eintretend beschrieb, war Boll. Er sah „seidig-glänzende Fasern“ an dieser Stelle und erklärte dieselben für marklose Nervenfasern, ohne einen Beweis dafür in Gestalt von Färbungen anzutreten. Aller Wahrscheinlichkeit nach hat Boll hier die feinen Bindegewebsfibrillen gesehen, welche zwischen den Odontoblasten als Zeichen beginnender Zahnbeinbildung auftreten. In späterer Zeit hat sich zunächst Bödecker, dann Morgenstern mit dem Verlauf der Nerven eingehend beschäftigt. Abgesehen von früheren Arbeiten Morgensterns, auf welche ich hier nicht näher eingehen will, möchte ich zu dem Aufsatze, welchen dieser Autor im Archiv für Anatomie und Physiologie 1896 veröffentlicht hat, bemerken, dass meines Erachtens auch dieser Forscher denselben Täuschungen unterlag wie Boll. Die spezifischen Färbungen für Nervenfasern, welche bisher existieren und auch Morgenstern angewandt hat, sind für die Zahnbeinpulpagrenze durchaus nicht als absolut sicher anzuerkennen. Das betrifft ganz besonders die Golgi-Methode. Ich habe schon beim Bau des Zahnbeins darauf hingewiesen, dass Röse dasjenige, was Morgenstern neuerdings als Nervenfäden beschrieb, schon 1892 nach der Golgi-Methode zur dentinogenen Substanz zugehörig erklärte. Jedenfalls werden durch

alle diese Färbungsmethoden die konstant vorkommenden erwähnten Fibrillen mitgefärbt. So lange nicht eine absolut präcise Methode der Reinfärbung markloser Nervenfasern existiert, ohne dass das umliegende Gewebe mittingiert wird, wird eine definitive Feststellung des Verlaufes der Nervenfasern schon in der Nähe der Odontoblasten sehr schwierig, im harten Zahnbein nahezu unmöglich sein. Soweit ich mit den besten, uns zur Verfügung stehenden optischen Instrumenten feststellen konnte, endigen die Nervenfasern entweder in Spitzen zwischen oder mit einer kleinen knopfförmigen Anschwellung unter den Odontoblasten. Durch sorgsames Nachsuchen konnte ich die Verbindung dieser Gebilde mit grösseren Nervenfasern feststellen. Oder sie umgeben als feines Flechtwerk die unter den Odontoblasten liegenden äussersten Zellen des Pulpagewebes, wobei einzelne Ausläufer auch zwischen die Odontoblasten treten. Ueber diese Grenze hinaus versagte sowohl die Beobachtung mit dem Auge, als auch der photographischen Platte, trotz stärkster Immersionssysteme und höchster Vergrösserung. Höchst selten befinden sich bei älteren Zähnen selbst in der Weilschen Schicht noch feinste Nervenfasern.



Fig. 101.
a und *b* marklose Aeste aus der Pulpa des Schneidezahnes eines Hundes (nach Huber).

Aehnliche Resultate, wie ich sie soeben beschrieb, erhielt Huber. Derselbe arbeitete hauptsächlich nach der intravitalen Ehrlichschen Methylen-Blaufärbe-Methode. Dieser Forscher fand, dass sich die markhaltigen Nervenfasern über dem unteren Rande der Odontoblastenlage in marklose Aeste mehrmals teilen. Auch Huber ist der Meinung, dass die feinen Bindegewebsfibrillen und die Ausläufer der Pulpazellen und Odontoblasten von den Forschern irrtümlicher Weise für Nervenfibrillen gehalten sind. Huber wendet sich auch gegen die Annahme von Hopewell Smith, dass die Weilsche Schicht eine Schicht markloser Nervenfasern sei. Ich meine, dass der von mir gelieferte Nach-

weis der Entstehung der Weilschen Schicht erst nach der Vollendung der Zahnbildung keinen Zweifel darüber aufkommen lässt. Huber fand gleichfalls, dass die „terminalen Fibrillen, welche sich von dem Plexus einer varicösen Faser unter den Odontoblasten abzweigten, sich nach oben zwischen diese Zellen erstrecken, um schliesslich in feinen Kernen nahe dem oberen Ende der Odontoblasten zu endigen.“ Der Autor hat niemals eine Verbindung der Nervenfasern mit den Odontoblasten oder irgend einem cellulösen Element der Pulpa gesehen und kann sich ebenfalls nicht der Ansicht Morgensterns anschliessen, welcher Nervenfasern in das Dentin eintreten lässt. Hubers Resumé seiner anatomischen Untersuchungen möchte ich hier wörtlich anführen: „Die Me-



Fig. 102.
Längsschnitt von Odontoblasten, mit welchen sich eine feine, varicöse Nervenfaser verbindet, und von welcher zwei Aeste bis zwischen den Odontoblasten durch zu deren Oberfläche verfolgt werden können (nach Huber). Methylenblaufärbung.



Fig. 103.
Verlauf der marklosen Nervenfaser zwischen Odontoblasten, welche im Querschnitt getroffen sind (nach Huber).

thylenblau-Methode zeigt uns, dass die Nerven der Pulpa innerhalb der Odontoblastenzone mit verhältnismässig einfachen Nervenendigungen in Gestalt von langen Strahlenbündeln von langen, varicösen Fibrillen endigen, welche unter den Odontoblasten gefunden werden. Diese äussersten Fibrillen verlaufen in feinen Endigungen zwischen den Odontoblasten oder zwischen diesen Zellen und dem Dentin und stehen nicht mit den Zahnbeinfasern in Verbindung, welche sich von den Odontoblasten erstrecken.“

Im grossen und ganzen decken sich also die anatomischen Resultate Hubers mit den meinigen. Ich muss jedoch noch einige Ergänzungen zu denselben machen. Vor allen Dingen möchte ich den Verlauf der Nervenfasern noch näher definieren. Nicht nur

derjenige der markhaltigen, sondern auch der marklosen Nervenfasern wird im allgemeinen der Odontoblastenlage beim Erreichen dieser Schicht parallel. Selbst die aus der Tiefe der Pulpa kommenden Fasern nehmen am Rande derselben diesen parallelen Verlauf an, ganz ähnlich wie es die Capillaren thun, und nur in verhältnismässig wenigen Fällen sieht man einzelne Fasern in die Weilsche Schicht, wenn eine solche vorhanden, oder gar zwischen die Odontoblasten eintreten. Im allgemeinen verbleiben sowohl die Capillaren wie die Nervenfasern jeder Art in der Randzone des eigentlichen Pulpagewebes unter den Odontoblasten. Die wenigen Fasern zwischen den letzteren können unmöglich die eventuell sehr grosse, stark variable Sensibilität des Zahnbeins genügend erklären. Huber sagt selbst, dass er das obere Ende der Nervenfasern nur „für kurze Zeit zwischen den Odontoblasten bemerken" konnte. Der den Odontoblasten parallele Zug der Nervenfasern ist oft bei günstiger Schnittführung auf grosse Strecken hin zwischen den Zellen der Randzone bemerkbar. Aus diesem Verlauf glaube ich mit Recht schliessen zu können, dass die Sensibilität des Zahnbeins, soweit sie überhaupt ein selbständiger physiologischer Vorgang ist, in der

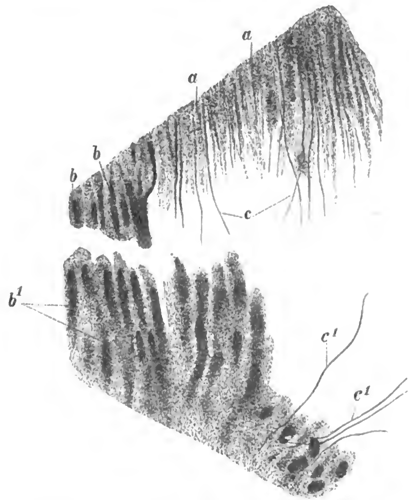


Fig. 104.

Längsschliff durch die Krone eines Molaren von einem 9jährigen Mädchen mit Erhaltung der Pulpa, nach Römer; *a* Odontoblastenfortsätze zerschliffen am Dentin hängend. *b* Odontoblasten im Zusammenhange mit dem Dentin, bei *b*¹ im Zusammenhange mit der Pulpa, *c* marklose Nervenfasern in der Spitze des Pulpahornes aus den Odontoblastenfortsätzen herausgeschliffen, *c*¹ Nervenfasern zwischen den Odontoblasten an der Pulpa hervorragend; Färbung mit Goldchlorid — Müllersche Flüssigkeit. (Vergrösserung 500.)

Innervation der Randzone der Zahnpulpa zu suchen ist, deren Zellen ja bekanntlich durch den Pulpafortsatz der Odontoblasten im engsten Zusammenhang mit letzeren stehen. Das haben schon Hertz, Waldeyer, Magitot u. a. an Isolationspräparaten mit Sicherheit nachgewiesen. Die später entstehende Weilsche Schicht war für die meisten Forscher bei ihrem Vorhandensein in den Präparaten die hauptsächlichste Veranlassung zu Täuschungen. Römer verwirft im grossen und ganzen die Hauptresultate

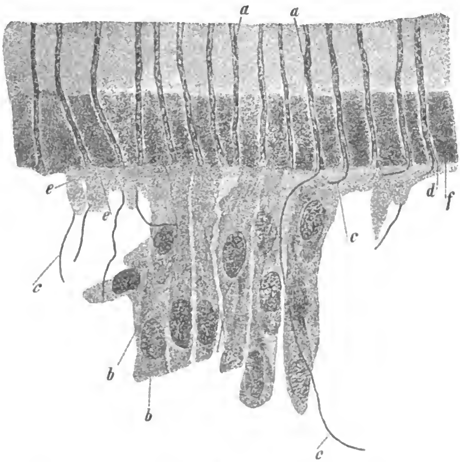


Fig 105.
Schnitt durch den Zahnkeimen einer drei Wochen alten Katze (nach Römer); *a* Zahnbeinröhrchen, *b* Odontoblasten, *c* feine Fäserchen aus der Pulpa zwischen den Odontoblasten zum Zahnbein aufwärts ziehend (marklose Nervenfasern), *d* Einbiegungsstelle dieser in die Zahnbeinschichten, *f* dentinogene Substanz. Vitale Methylenblaufärbung. (Vergrösserung 750.)

Morgensterns, schliesst sich dagegen den Angaben Bolls und Bödeckers in vieler Hinsicht an. Der Kardinalpunkt des zweiten Teiles der Römerschen Abhandlung besteht darin, dass der Autor marklose Nervenfasern bei seinen Untersuchungen aufgefunden hat, welche bis in die Dentinfortsätze der Odontoblasten von ihm verfolgt werden konnten. Während er jedoch den Verlauf dieser feinsten Nervenfasern im Zahnbein selbst nicht verfolgen konnte, glaubt er, dass ein grosser Teil der Zahnbeinröhrchen,

welche sich an der Schmelzzahnbeingrenze zu den sogenannten kolbenförmigen Fortsätzen erweitern, die letzten Nervenendigungen enthalten. Der Autor beschreibt kleine Körperchen im Innern der kolbenförmigen Erweiterungen, welche nach seiner Ansicht mit grosser Wahrscheinlichkeit als Endkörperchen der sensiblen Nerven des Zahnbeins analog den Endkörperchen der sensiblen Nerven der Haut- und Schleimhautpapillen angesehen werden müssen. Die Präparate Römers stammten von Zahnkeimen, welche den Kiefern junger Katzen entnommen waren. Ihre Vorbehandlung geschah nach der vitalen Methylenblau-Methode, und Römer sah in den Präparaten, dass feine Fasern von der Breite von 0,25—0,3 μ gleichzeitig mit den Dentinfortsätzen in das Zahnbein eintraten, nachdem sie vorher zwischen den Odontoblasten ihren Verlauf genommen hatten. Ferner erhielt Römer ein solches Bild aus einem Längsschliffe durch die Krone eines Molaren von einem 9jährigen Mädchen, welcher, mit Goldchlorid gefärbt, nach der v. Kochschen Versteinerungsmethode vorbehandelt und sehr dünn geschliffen wurde. Endlich sah er diese Nervenfäserchen schon bei einer Vergrösserung von 250, weil sie erstens mit Gold dunkelrot gefärbt und zweitens vollständig frei ohne jeden Untergrund waren.

Ich glaube nach sorgfältiger Erwägung aller bekannten histologischen Einzelheiten nicht, dass auf Grund dieser Entdeckungen allein die normale Empfindlichkeit und vor allen Dingen die Hyperästhesie des Zahnbeins genügend erklärt werden kann. Hoehl hat schon in seiner Arbeit „Beiträge zur Histologie der Pulpa und des Dentins“ darauf aufmerksam gemacht, dass die Entkalkung die vorhergehende Metallinprägnation zerstört. Derselbe sagt darüber wörtlich: „Aber auch das nach A. Bethe fixierte Methylenblau verträgt eine spätere Säureneinwirkung nicht. Am aussichtsvollsten scheint die Vergoldung der Nerven, bei vorangehender und folgender Ameisensäurebehandlung zu sein, weil dabei mit der Reduktion des Goldsalzes gleichzeitig die Entkalkung eintritt; doch sah ich auch von dieser Methode keine ermunternden Resultate.“ Römer hat leider nicht ein einziges Bild von einem Schnitt oder Schliff gegeben, welcher in situ die Lage der Nervenfasern zwischen den Odontoblasten bei gleichzeitigem Eintritt in die Dentinkanälchen zeigt. Eine Ausnahme macht die Figur 17 seines Werkes und die dort gezeichneten Fasern, welche ich in Figur 105 wiedergebe. Ich muss diese Fasern mit solchen in Präparaten, welche ich schon im Jahre 1895 auf der Versammlung des zahnärztlichen

Vereins für Niedersachsen, als auch nach erneuten Untersuchungen, mit solchen, welche ich in Halle demonstrierte, für gleichartig halten. (Vergleiche Fig. 108 auf Tafel VIII.) Ich glaubte 1895 ebenfalls, — wie ich schon bei der Entwicklung des Zahnbeins bemerkte — dass diese sehr feinen Fasern zwischen den Odontoblasten die vielgesuchten Nerven des harten Zahnbeins seien. Letzteres nahm auch Röse damals an. (Zahnärztliche Rundschau 1895.) Zu meiner Arbeit „Beiträge zum feineren Bau des Schmelzes und zur Entwicklung des Zahnbeins" machte ich dann zahlreiche weitere Untersuchungen in dieser Hinsicht. Hier habe ich speziell Katzen und Kaninchen als Material benutzt. Die Fixierung geschah zumeist in Flemmingscher oder Hermannscher Lösung. Ich habe schon in meiner ersten Mitteilung bemerkt, dass die aufgefundenen Fasern so fein waren, dass sie auch bei einer Vergrösserung von nahezu 2000 linear auf der Originalphotographie nur die Stärke eines Haares zeigten, während die Odontoblasten bei dieser Vergrösserung 7 bis 8 mm breit und 35—40 mm lang erschienen. Zunächst hatte ich diese Fasern in die Zwischensubstanz allein eintreten sehen. Es fanden sich jedoch bald Fälle, wo sie auch scheinbar gleichzeitig mit den Dentinfortsätzen in die Zahnröhrchen eintraten. Daraus zog ich den wohl gerechtfertigten Schluss, dass diese Fasern keine Nervenendigungen waren, denn sie konnten nur entweder in die Intercellularsubstanz oder in die Odontoblasten allein eintreten. Ich musste sie deshalb in meiner letzten Arbeit für unverkalkte Fibrillen ansehen, welche den Odontoblasten dicht anliegen und durch den Schnitt teilweise von denselben abgehoben wurden. Diese Ansicht, welche v. Ebner zuerst ausgesprochen hat, wird gestützt durch die Resultate früherer Autoren. Derartige Dinge hat seiner Zeit auch wohl Boll vor sich gehabt und die Fäserchen für Nerven gehalten, weil man damals noch nicht wusste, dass das Zahnbein eine fibrilläre Struktur besitzt und dass die Fibrillen schon vorhanden sind, ehe die Verkalkung beginnt, ganz so wie beim Knochen. Ich habe die Resultate Römers nach dem Erscheinen seiner Abhandlung genau nach seiner Vorschrift aber an Zähnen von Menschen nachgeprüft, unter besonderer Berücksichtigung gerade von sehr empfindlichen Zahnbeinstellen, welche vor der Extraction festgestellt waren. Die Resultate waren durchaus negative, und ich glaube, dass Römer v. Ebnersche Fibrillen gefärbt hat, welche dem durchaus nicht distinktfärbenden Goldchlorid und Methylenblau ebenfalls zugänglich sind. Vom Gold-

chlorid ist dies schon länger bekannt, das Methylenblau verhält sich nach meinen neuesten Resultaten ganz ähnlich wie das Anilinblau und selbst wie z. B. Hämatoxylin. Alle diese Farbstoffe färben sowohl das Gewebe der Zahnscheiden, als auch die unverkalkten leimgebenden Ebnerschen Fibrillen. Sehr schwer wird für Römer die Erklärung des weiteren Wachstumverlaufes des Zahnbeins werden. Nach Römers Zeichnungen und Ausführungen lägen diese Nervenfasern zwischen dem Dentinfortsatze und der Intercellularsubstanz, also an der inneren Wand der Zahnscheiden. Wer die Histologie des Zahnbeins näher studiert hat, wird die schon oben besprochene Thatsache nicht leugnen können, dass jugendliches Zahnbein viel weitere Dentinröhrchen aufweist als älteres. Es muss also eine Umwandlung des Dentinfortsatzes in Zahnbeinzwischensubstanz stattfinden, wie ich in der deutschen Monatsschrift für Zahnheilkunde 1892, Heft 3, schon ausführlich nachgewiesen und in diesem Lehrbuch auf Seite 59 und ff. erwähnt habe. Die frühere Sekretionstheorie kann diese Verkleinerung der Zahnbeinröhrchen durchaus nicht erklären. Es müssten also in späteren Stadien die wandständigen Nervenfasern in das Zahnscheidengewebe, welches erst später gebildet wird, mit eingeschlossen und dann auch mikroskopisch sichtbar werden, sowohl in Längs- wie auch in Querschnitten. Derartiges zu beobachten ist bisher weder einem Forscher gelungen, noch ist dieser Vorgang auch nur einigermassen wahrscheinlich.

So verdienstvoll sonst die Arbeit Römers ist, glaube ich nicht, dass sie die Frage der Empfindlichkeit und der Hyperästhesie des Zahnbeins entscheiden kann. Die Annahme, dass die auf Seite 86 und ff. beschriebenen kolbenförmigen Endfortsätze an der Schmelzgrenze die vielgesuchten wahren Nervenendigungen seien, muss ich nach zahlreichen Untersuchungen von Zähnen der verschiedensten Tiere mit Sicherheit verneinen. Die Römerschen Angaben über den Bau der kolbenförmigen Fortsätze sind durchaus nicht neu. Ich habe schon in einem früheren Aufsatze (Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1892, Heft 11) die Struktur dieser Fortsätze ausführlich beschrieben und kann nur auf die damaligen mikrophotographisch wiedergegebenen Abbildungen derselben hinweisen. Wer in dieser Beziehung noch irgend einen Zweifel hegt, bitte ich, einmal Zähne von Ungulaten zu untersuchen. Hier finden sich derartige Fortsätze der Dentinkanälchen in dem Schmelze in zahlloser Menge und zwar in allen Formen, vom einfachen kurzen Dentinkanälchen an bis zum grössten

kolbenförmigen Fortsatze. Es sind in diesem Gebilde durchaus nicht immer Zellen vorhanden, wie Morgenstern und auch Römer meinen. Verhältnismässig ist das sogar seltener der Fall. Dass Zellen, insbesondere degenerierte Kerne derselben, an den Spitzen der kolbenförmigen Fortsätze vorkommen, habe ich schon in früheren Arbeiten verschiedentlich mitgeteilt. Morgenstern

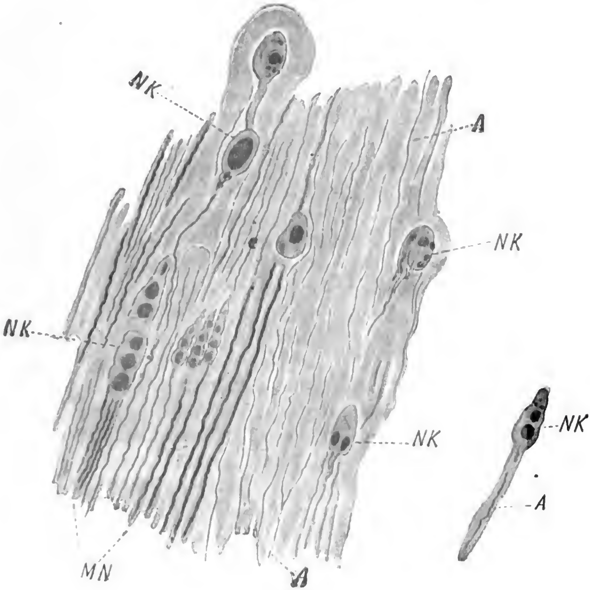


Fig. 106.

Längsschliff aus dem Kronenteil eines jungen Kalbszahnes. *A* Achsencylinder, *NK* Nervenkörper, *MN* künstlich durch Osmiumsäure verdickte Nervenfasern (nach Morgenstern).

will sogar nicht allein im Zahnbein „Nervenkörper" und Achsencylinder beobachtet haben, sondern verfolgt dieselben sogar bis in die kolbenförmigen Fortsätze. Ich gebe in Fig. 106 und 107 zwei Bilder Morgensterns, welche die grösste Aehnlichkeit mit dem von mir auf Tafel VI abgebildeten Fig. 88—90 haben. Hier sind die Zellen jedenfalls einfache Odontoblasten. Vergegenwärtigen

wir uns, dass das Vorkommen von Zellen in den kolbenförmigen Fortsätzen an eine sehr schnell verlaufende Zahnbeinbildung gebunden ist, wie sie ganz besonders an der Spitze der Zahnbeinhöcker vor sich geht, so finden wir naturgemäss im späteren Wachstum des Zahnbeins gegen die Wurzel hin die kolbenförmigen Fortsätze immer seltener angelegt. Diese verschwinden in menschlichen Zähnen weit vom Zahnhalse häufig vollständig. Einzelne Odontoblasten können ja bei der ersten Anlage des Zahnbeins direkt aus der Reihe weit in das Schmelzgewebe hineingedrängt werden. Aber diese äussersten Zellen sind dann für die Formation des Zahnbeins nicht mehr aktiv, und sie werden in das Schmelzgewebe, welches sich später kappenförmig über den Zahnbeinkeim stülpt, eingelagert. An den Seiten des letzteren werden bei der weiteren Entwicklung des Schmelzes die hervorragenden Dentinkanälchen durch den aufwärts strebenden Dentinkeim umgeknickt. Solche Einschlüsse einzelner Odontoblasten findet man sehr häufig bei anormaler Zahnbeinbildung, in menschlichen Zähnen besonders bei der Bildung von Ersatzdentin, bei Odontomen und Verschmelzung von Zahnbeinkeimen. Es wäre sehr gewagt, gerade hier von Nervenendigungen zu sprechen. Jedenfalls muss es das Bestreben der Histologen auf dem so schwierigen Gebiete der Zähne sein, Dinge, welche unseren Hilfsmitteln überhaupt noch zugänglich sind, möglichst auf breiter Basis zu untersuchen und zu erklären, und das Gebiet der Hypothesen erst dann zu betreten, wenn die optischen Instrumente und die Färbungsmethoden nicht mehr ausreichen, direkte Beweise zu erbringen. Letzteres liegt jedenfalls bei den kolbenförmigen Fortsätzen, welche an der Schmelzzahnbeingrenze vorkommen, nicht vor. Dass diese übrigens für die Sensibilität des Zahnbeins ohne jede Bedeutung sind, geht aus einfachen klinischen Beobachtungen hervor. Das weitaus empfindlichste Dentin zeigt jedenfalls ein freiliegender Zahnhals. Hier sind aber durchaus keine kolbenförmigen Fortsätze vorhanden. Der Annahme Römers, dass die Zahnkrone empfindlicher ist, als die Wurzel, in der die Fortsätze vollständig fehlen, kann ich durchaus nicht beipflichten. Sowie die letztere vom Cement entblösst ist, kann sie zum mindesten dieselbe, wenn nicht eine grössere Empfindlichkeit zeigen, als irgend ein Teil des Zahnbeins in der Krone, vorausgesetzt, dass die Pulpa ihre volle Lebensthätigkeit behalten hat.

Somit erscheinen auch die neuesten Arbeiten auf dem Gebiete der mikroskopischen Anatomie noch nicht zur vollständigen Er-

klärung der normalen und der vermehrten Sensibilität des Zahnbeins ausreichend. Sämmtliche bisherigen Forscher haben bisher nur die allgemein bekannte Nervenverbindung des Pulpagewebes mit dem Gehirn in Form der Nervenfibrillen, welche auch das Zahnbein durchsetzen sollen, aufzufinden gesucht. An die physiologische Bedeutung der Protoplasmaverbindungen der beteiligten Zellen hat man kaum gedacht. Und gerade diese möchte ich zur Erklärung der Sensibilität und Hyperästhesie des Zahnbeins heranziehen. Wir wissen, dass die Odontoblasten mit den Zellen der sogenannten intermediären Schicht, also der unter den ersteren liegenden Zellen, durch die Pulpafortsätze verbunden sind. Wir wissen weiter, dass in der Zone der intermediären Schicht die Capillaren, parallel der Odontoblastenlage verlaufend, sich am zahlreichsten im ganzen Pulpagewebe befinden. Wir wissen endlich, dass in derselben Zone die weitaus grösste Verteilung aller Nervenfibrillen, wiederum parallel den Odontoblasten statthat. Letztere sowie ganz besonders die Zellen der intermediären Schicht werden von den feinsten marklosen Nervenfasern förmlich umsponnen. Ich gebe in Fig. 109 und 110 die diesbezügliche Lagerung der Nervenfasern bei menschlichen Zähnen wieder. Diesen positiv feststehenden Thatsachen entsprechend, ist der Schluss gerechtfertigt, dass sowohl die Odontoblasten, als auch die intermediäre Schicht die Centralen für den Stoffwechsel und die Sensibilität des Zahnbeins sind. In einem Aufsatz „Der gegenwärtige Standpunkt unserer Kenntnis der Zahnbeinnerven“ (Korrespondenzblatt für Zahnärzte 1899) sucht Morgenstern noch Beweise für das Vorkommen der Nerven im Zahnbein zu bringen. Nach allen Veröffentlichungen Morgensterns zu schliessen, glaube ich, dass der Autor durch seine komplizierten Untersuchungsmethoden in sehr vielen Fällen Kunstprodukte für Zahnnerven hält. Besonders seine Färbungen scheinen oftmals nur Farbstoffniederschläge ohne organische Grundlage zu sein, und andererseits wendet der Autor Färbungen an, welche auch andere Gewebe ebensogut annehmen als wie das zu differenzierende. Der Autor beschreibt neuerdings ausser den Zahnbeinkanälchen ganz feine Röhren in der Zahnbeingrundsubstanz, welche er für die Lokalisationsempfindung im Zahnbein heranzieht. Die Breitenverhältnisse dieser Röhren zu den Dentinkanälchen schätzt Morgenstern ungefähr auf eins zu zehn. Er zieht zur Unterstützung seiner Betrachtungen eine frühere Arbeit von mir mit hinein und sagt darüber folgendes: „Die Richtigkeit meiner Untersuchungsresultate

wird aber bestätigt durch die mikrophotographischen Aufnahmen Walkhoffs. Dieser Autor hat in seiner Arbeit: „Neue Untersuchungen über die Pathohistologie des Zahnbeins“ auf einigen vortrefflich gelungenen Mikrophotographien in Fig. 3 und 4 neben Querschnitten der Tomesschen Fasern ohne Wissen und Wollen eine verhältnismässig grosse Anzahl von anderen im Querschnitt getroffenen Kanälchen und Fasern dargestellt. Die letzteren sind im Durchmesser nur $^1/_{10}$ bis $^1/_3$ so breit, wie die Köllikerschen Zahnbeinröhrchen, entsprechen demnach den von mir entdeckten feineren Röhrchen. Dasselbe bezieht sich aber auch auf ihre Lage. Nach den Walkhoffschen Bildern kommen die feineren Röhrchen vor:

1. innerhalb der Zahnbeingrundsubstanz zwischen den gewöhnlichen Dentinkanälchen;
2. in der Zahnbeingrundsubstanz hart neben den gewöhnlichen Dentinkanälchen;
3. in den Zwischenräumen zwischen Tomesschen Fasern und der Wandung ihrer Zahnbeinröhrchen.

Aus dem letzteren Lagerungsverhältnis geht zugleich hervor, dass die Tomesschen Fasern nicht den ganzen Hohlraum des Dentinkanals einnehmen, sondern noch Raum für andere Gebilde freilassen, wodurch die Behauptung Römers: Die Dentintuben von Tomes seien nur durch Maceration entstandene röhrenförmige Lücken, in der Zahnbeinsubstanz jeden Boden verliert.“

Die erwähnten Bilder zeigen zwar in der That kleine kreisförmige Gebilde, welche mir damals durchaus nicht entgangen waren. Ich halte sie jedoch für die quergetroffenen Seitenkanälchen der Dentinkanälchen und nicht für besondere Nervenbahnen. Einzelne derselben sind überhaupt nur als Kunstprodukte anzusehen, andere endlich als v. Ebnersche Fibrillen des Zahnbeins. Für das letztere spricht besonders, dass die Querschnitte dieser Gebilde keine einfachen Farbstoffe, noch nicht mal auf der Oberfläche annehmen. Morgenstern verteidigt dann noch in diesem Aufsatze die Golgische Färbung, von welcher ich, wie schon erwähnt, ganz besonders glaube, dass sie nicht beweiskräftig für das Vorkommen von Nerven im Zahnbein ist. Endlich geht Morgenstern nochmals auf die Nervenendigungen im Schmelze in Gestalt der kolbenförmigen Fortsätze ein, von welcher Römer ebenfalls glaubt, dass diese Gebilde wirkliche Nervenendapparate seien. Morgenstern gibt dafür zum Beweise zwei Figuren, welche ich in Figur 106 und 107 wiederhole. Die

Figur 107 derselben deckt sich vollständig mit Mikrophotographien, welche ich schon 1892 von den kolbenförmigen Fortsätzen an der Dentingrenze gab und deren Beschreibung sich auf Seite 460 des erwähnten Jahrganges der deutschen Monatsschrift für Zahnheilkunde findet. Wer meine damaligen Ausführungen über diese Gebilde kennt, wird zugeben, dass Morgenstern mit diesem Aufsatze nichts beweiskräftiges gegen die Resorptions- respektive Faltungstheorie und vor allen Dingen gegen die Aussprengung einzelner Odontoblasten in das Schmelzgewebe hinein infolge des Mangels an Raum, vorgebracht hat.

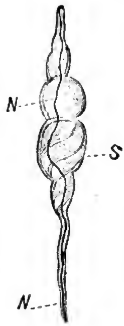


Fig. 107.
Nervenendigung im Schmelze eines Schneidezahnes vom Kalbsfötus. Der Achsencylinder *N* tritt in die Höhle des spindelförmigen Nervenendapparates (nach Morgenstern).

Die von mir angenommene Vermittlung der Sensibilität im Zahnbein seitens des Odontoblasten allein habe ich in meiner Abhandlung „Das sensible Dentin und seine Behandlung“ ausführlich begründet und verweise ich hiermit auf die dort gegebene ausführliche Physiologie des Zahnbeins.

Neuntes Kapitel.

Das Cement.

Die dritte harte Zahnsubstanz, das Cement, umgibt normaler Weise das Zahnbein der Wurzel in einer ganz dünnen, strukturlosen Schicht. Am dünnsten ist das Cement am Zahnhalse. Es ragt hier oft noch um ein weniges über die dünne Schmelzlage am Zahnhalse hinweg. (Vergleiche Tafel IX Fig. 113.) Nach der Wurzelspitze zu erscheint es am stärksten; es besteht aus einer kalkhaltigen Grundsubstanz und ist ein dem Knochen sehr ähnliches Gebilde. Die Grundsubstanz enthält häufig v. Ebner sche Fibrillen. Normales Cement in dünnster Lage erscheint durchsichtiger als normales Knochengewebe. Eine Analyse von Bibra ergab:

57 % phosphorsaurer Kalk
8 % kohlensaurer Kalk
1,2 % Fluorcalcium
1,0 % phosphorsaure Magnesia
29,6 % organische Substanz.

In den im übrigen nahezu strukturlosen Schichten normalen Cementes stehen die Fibrillenbündel senkrecht zur Oberfläche. Dadurch unterscheidet sich das Gewebe vom lamellären Knochengewebe in bedeutender Weise, worauf besonders v. Ebner aufmerksam gemacht hat. In dickeren Lagen wird das Cement lamellös (vergleiche Tafel IX Fig. 114), aber auch dann stehen die Fibrillenbündel senkrecht in mehreren Etagen zur Oberfläche des Cementes. Grössere Fibrillenbündel können in Gestalt von Sharpeyschen Fasern auch durch mehrere Lamellen das Cement in dieser Richtung hindurchziehen und sind dann unverkalkt. (Siehe Tafel IX Fig. 115 und 116.) Durch verdünnte Säuren kann man die Lamellen noch deutlicher darstellen.

Bei vielen älteren menschlichen Zähnen werden aber seitens der Wurzelhaut noch grössere Cementmassen angelagert, und das neugebildete Gewebe erscheint dann nahezu als wahres Knochengewebe. Einerseits sehen wir eine sehr stark ausgeprägte lamellöse

Anordnung des verdickten Knochengewebes, andererseits erscheinen zwischen diesen Lamellen Cementkörperchen in grosser Anzahl. (Siehe Tafel IX Fig. 116 und 117.) Diese Cementkörperchen von ovaler oder sternförmiger Form sind Knochenkörperchen sehr ähnlich, nur haben sie grössere und sehr verzweigte Fortsätze. Auch sind sie im allgemeinen grösser als die Knochenkörperchen, haben aber denselben Bau wie die Letzteren. Gelegentlich sieht man eine grössere Anzahl von Cementkörperchen in einem einzigen Hohlraum miteinander vereinigt. Es sind das unverkalkte stehen gebliebene Partien der Wurzelhaut. Die Grenze gegen das Dentin ist meist scharf abgesetzt. Wo eine Hypertrophie beginnt, tritt eine mangelhaftere Verkalkung des neuangelagerten Cementes ein. (Vergl. Tafel IX Fig. 115 bei *h*.) Der Mangel an Kalksalzen findet sich besonders zwischen den einzelnen Lamellen, wodurch sie noch schärfer begrenzt erscheinen. (Vergl. Tafel IX Fig. 117.) Mit ihren Fortsätzen treten die Cementkörperchen unter sich in Verbindung. Im trockenen Schliffe sind die in ihnen enthaltenen Zellen mumifiziert. Die Cementkörperchen haben eigene Wandungen, ihre Ausläufer verzweigen sich oft nochmals büschelförmig. Dagegen muss ich es stark bezweifeln, dass sie mit den Dentinkanälchen kommunizieren. Die Fortsätze der Cementkörperchen stehen zwar im allgemeinen senkrecht zur Oberfläche der Wurzel. Bei trockenen Schliffen sieht es dann beim Vorhandensein von grösseren Sharpeyschen Fasern nicht selten aus, als wenn die Dentinkanälchen sich in das Cement fortsetzten. Haversche Kanälchen, wie sie im Knochen normal sind, findet man im Cement nur in den Hyperostosen und Exostosen der Zahnwurzeln, sehr starken Cementablagerungen, welche allmählich unter den geschilderten Erscheinungen auf grosse Strecken hin auftreten, auf welche aber hier nicht näher einzugehen ist, weil dieselben in das Gebiet der Pathologie der Zähne gehören.

Zehntes Kapitel.

Die Wurzelhaut der Zähne.

Die Verbindung eines Zahnes mit dem umschliessenden Knochen und Zahnfleisch vermittelt die Wurzelhaut (Alveolar- oder Wurzelperiost.) Letztere ist zugleich die Matrix für das Cement der Zahnwurzeln und entwickelt sich aus den innersten Bindegewebslagen des Zahnsäckchens. Am Alveolarrande wird die Wurzelhaut am dünnsten, nach der Wurzelspitze am stärksten formiert. Die Wurzelhaut der Zähne besteht wie alles Periost aus Bindegewebe, enthält aber keine elastischen Fasern, sondern ist grösstenteils aus Bündeln von fibrösem Gewebe zusammengesetzt (vergl. Tafel IX Fig. 118), zwischen welchen zahlreiche Nerven und Gefässe sich verzweigen. Letztere kommen, wie Wedl nachgewiesen hat, aus den Gefässen des submukösen Zahnfleisch-Bindegewebes, dann von den Gefässen, welche zugleich zur Pulpa gehen und endlich von den Gefässen der knöchernen Alveole. Wedl entdeckte, dass die Gefässe teilweise sehr gewunden verlaufen und förmliche Knäule an manchen Stellen der Wurzelhaut bilden. Die Nerven ziehen analog den Blutgefässen und meistens mit letzteren zusammen. Die Wurzelhaut der Zähne vertritt zugleich das Periost des Kieferknochens, so dass nur ein Periost zwischen Cement und Knochen vorhanden ist. Die Fasern laufen am Zahnhalse quer und etwas schräg vom Cement nach der Alveole. (Vergl. Tafel IX Fig. 118.) In der Gegend des Knochenrandes der letzteren stellen sie sich mehr gerade zur Oberfläche des Cements (vergl. Tafel IX Fig. 119) und in der Alveole ziehen dieselben mehr nach der Wurzelspitze zu. (Vergl. Tafel IX Fig. 120, die Wurzel ist nach oben gelegen.) Magitot sah zuerst, dass in vielen Fällen die Wurzelhaut am Knochen deutlich fibrös ist, am Cement dagegen mehr aus einem Netzwerk dünner Bänder besteht. Die beiden Schichten laufen jedoch ohne besondere Grenzlinie ineinander über. Allerdings scheint diese Schichtung überhaupt nur in junger Wurzelhaut beobachtet zu werden. In älteren Zähnen findet man überwiegend

starke fibröse Bindegewebsmassen. Die Bindegewebskörperchen der Wurzelhaut, welche bei der ersten Anlage rundlich oder oval erscheinen, werden später spindelförmig.

In der Wurzelhaut findet man selbst bei älteren Zähnen in Form von zahlreichen Nestern Reste der Epithelscheide eingelagert. Letztere wird von den Bindegewebsbündeln der Wurzelhaut an vielen Stellen während der Wurzelbildung durchbrochen. In Figur 120 auf Tafel IX sind diese Reste von Epithel bei *e* zahlreich nebeneinander und parallel der Cementgrenze angeordnet.

Die Entwicklung des Cements verläuft im grossen und ganzen genau so wie diejenige des gewöhnlichen Knochengewebes. Das normale Cement wird von Osteoblasten (hier auch Cementoblasten genannt) gebildet, welche häufig nur in einer einzigen Reihe dem neugebildeten Gewebe anliegen. Mir scheint als wenn nur das Protoplasma des Zellleibes bei der Entwicklung eine grosse Rolle spielt. Nach der Wurzelspitze zu werden aber nicht selten bei sonst ganz normalen Zähnen die Osteoblasten in das neugebildete Cement mit eingeschlossen; die Ablagerung des letzteren scheint von diesem Augenblicke an schichtenweise vor sich zu gehen, indem innerhalb einer solchen Lamelle die Wurzelhaut in allen Bestandteilen ossifiziert. Die in der Grundsubstanz des Cementes lagernden Sharpey schen Fasern verbinden sich nach v. Ebner häufig mit denjenigen, welche aus der Alveolarwand entspringen.

Die

mikroskopische Technik

der

normalen Zahngewebe.

Allgemeine Bemerkungen.

Dem Charakter des vorliegenden Werkes entsprechend, muss ich bei der Besprechung der mikroskopischen Präparationsmethoden für die Zahngewebe eine allgemeine Kenntnis des Mikroskops und der Gewebe voraussetzen. Hier kann es sich nur darum handeln, spezielle Methoden, welche im Laufe der Zeit als besonders empfehlenswert und wirklich erprobt für die Herstellung der Präparate von Zahngeweben erschienen, zu besprechen.

Die Zahngewebe werden im wesentlichen nach zwei verschiedenen Methoden untersucht, welche sich der Härte der Zahnsubstanzen anpassen. Gewöhnlich fertigen wir zur Untersuchung einer festen Zahnsubstanz Schliffe, zur Beobachtung der weichen Gewebe Schnitte an.

Es müssen jedoch auch Ausnahmen gemacht werden, weil z. B. die Pulpa der Zähne vollständig von dem harten Gewebe umschlossen ist, und die Zahnfasern sich von ihr in das Dentin hinein erstrecken. Es wird oft sehr wünschenswert sein, auch die Verbindungsstelle beider Gewebe einer genaueren Betrachtung zu unterziehen. Zu diesem Zwecke ziehen wir entweder aus dem harten Gewebe die Kalksalze aus (Entkalkung), so dass wir Schnitte von beiden Geweben machen können, oder wir imprägnieren die weicheren Gewebe mit festen Substanzen, so dass auch sie schleifbar werden (Versteinerung). Beide Methoden ermöglichen es, die in Bezug auf den Härtegrad so sehr verschiedenen Zahngewebe nun nach einer der angegebenen Herstellungsarten für mikroskopische Präparate gemeinsam zu verarbeiten. Jede dieser kombinierten Methoden hat ihre Vorteile und Nachteile. Bei der Entkalkung geht z. B. der Schmelz infolge seiner geringen organischen Substanz immer verloren, und Schrumpfungen der Pulpa kommen trotz grösster Vorsicht gelegentlich vor; die Dünnheit der Schnitte ist dagegen unübertrefflich, sie lassen sich in grösster Anzahl, ja sogar als lückenlose Serien herstellen. Bei der Versteinerung sind dagegen alle Gewebe in guter Lage erhalten, aber es lassen sich von einem ganzen Zahne nur wenige Einzelpräparate gewinnen. Endlich bedient man sich

zur Erkenntnis der Struktur der Zähne der verschiedenen Methoden der Isolierung, wie sie in der allgemeinen mikroskopischen Technik, insbesondere für die Darstellung der histologischen Elemente allgemein im Gebrauch sind. Ich komme noch auf die besonderen Eigenschaften der Präparationsmethoden im Einzelnen zurück, deren Schilderung nun Platz greifen möge.

I. Zahnschliffe.

Die weitaus älteste Methode, die Zahngewebe zu untersuchen, ist die Herstellung dünner Platten aus der harten Substanz durch den Schliff. Sie datiert sicherlich aus den ersten Anfängen mikroskopischer Forschung und hat sich wie auch auf anderen Gebieten bis auf den heutigen Tag als eine vorzügliche Methode bewährt, feinste Kanälchen und Höhlen in Bezug auf Lage und Verlauf zu untersuchen. Durch das Eintrocknen der organischen Substanz tritt bis in die kleinsten Verzweigungen Luft ein, und da die Randstrahlen durch die Hohlräume bei durchfallendem Lichte total reflektiert werden, erscheinen die lufthaltigen Räume schwarz auf weissem Grunde. Unersetzbar ist der Schliff bei der Untersuchung des Schmelzes und für sämmtliche Zahngewebe, wenn man Aufschluss über die Anordnung und Lagerung der Kalksalze haben will. Die älteren Schriftsteller haben nur wenig über die Art der Herstellung ihrer Schliffe verlauten lassen. Die erste gute Anleitung, Zahnschliffe zu machen, welche die Luft gleichmässig einschliessen, gab meines Wissens Krukenberg. Schon dieser Autor macht darauf aufmerksam, dass man für diese Schliffe möglichst gesunde, gut macerierte Zähne von jugendlichen Individuen nehmen muss. Nachdem man sich von dem Objekt mit Hilfe von Sägen und Feilen nach verschiedenen Richtungen geschnittene Blättchen verschafft hat, schleift man sie am besten zwischen zwei glatten ebenen Steinen mit Wasser befeuchtet möglichst fein. Gute Laubsägen und nicht zu grobe Feilen ermöglichen die Vorarbeitung leicht. Die glättesten Oberflächen erhalten die Schliffe auf einem weichen Schiefersteine. Ich kann hierfür die belgischen Steine (zu beziehen durch L. Bauer, München, Frauenstrasse) sehr empfehlen. Die Schliffe kann man auch auf einem Steine allerdings dann oft unter Abreiben der Fingerspitzen dünner schleifen. Die genannten belgischen Steine haben zwei Seiten zum Vor- und Nachschleifen. Um diese feinen Schliffe nun von Fett zu befreien, welches öfters in den Röhren enthalten ist und sie in

ihren Contouren undeutlich macht, lässt man sie eine zeitlang im Alkohol oder Aether liegen, oder kocht sie noch besser darin aus. Um ihre Oberflächen vollkommen zu reinigen, und ihren Glanz noch zu erhöhen, reibt man sie auf glattem Papier gehörig ab. Wenn man dann diese Schliffe auf zwei Glasplatten trocken unter dem Mikroskop beobachtet, so stellt sich das Röhrensystem des Zahnbeins und alle Höhlen, welche durch das Eintrocknen der organischen Substanz in ihnen enthalten sind, vollständig dar; indessen wird ein bestimmtes Urteil über den Verlauf namentlich der feineren Röhren und ihrer Verbindungen durch das Vorhandensein der zahlreichen Schleifstriche wesentlich beeinträchtigt oder ganz unmöglich gemacht. Ausserdem haben etwas dickere, zu manchem Zwecke nötige Schliffe noch nicht die genügende Durchsichtigkeit. Krukenberg schmolz zum ersten Male die Schliffe in Kanadabalsam, der vorher durch Erhitzen erhärtet ist, zwischen Objektträger und Deckglas rasch ein. Dabei dringt die wieder flüssig gewordene Harzmasse in alle kleinen Unebenheiten auf der Oberfläche der Schliffe, selbst in die Schleifstriche vollständig ein, so dass sie verschwinden, und teilt den Schliffen selbst die völlige Durchsichtigkeit und Klarheit mit, während sowohl die in den Röhren eingeschlossene Luft, als auch das beim raschen Abkühlen des Präparates zugleich erfolgende Erhärten der Harzmasse ihr Eindringen in die Röhrchen verhindert. Die Röhrchen bieten sich jetzt mit der grössten Klarheit und Vollkommenheit der mikroskopischen Beobachtung dar.

Krukenberg gibt in seiner Abhandlung noch einige Verhaltungsmassregeln für die Einbettung des Schliffes in den von ihm empfohlenen Kanadabalsam an. Er nimmt von letzterem einen Tropfen, breitet ihn sowohl auf dem Objektträger als auch auf dem Deckglase nach Grösse des Präparates aus, und erwärmt die Gläser entweder über einer Spiritusflamme, einem Bunsenbrenner oder noch besser über dem Cylinder einer Lampe, da die Hitze über demselben gleichmässiger ist. Die bei dem Erwärmen entstehenden Blasen verschwinden entweder wenn man es langsam fortsetzt, oder kommen auf die Oberfläche; wird die Masse härter, so kann man die Blasen dadurch beseitigen, dass man das Glas umkehrt und die intensive Hitze der Lampe rasch auf die Oberfläche des festgewordenen Harzes einwirken lässt, wobei sie platzen. Das Eindampfen setzt man so lange fort, bis nach dem Erkalten das Harz eine glatte durchsichtige, mit einem

spitzen Instrumente nicht mehr einzudrückende Schicht bildet. Zu langes Erhitzen und Eindampfen muss man vermeiden, weil das Harz dann zu spröde wird und gleich nach dem Erkalten Risse bekommt. Hat man nun beide Gläser mit einer dünnen, glatten, erhärteten Harzschicht bedeckt, so legt man den Zahn- oder Knochenschliff zwischen dieselben und erwärmt das Objektglas allmählich bis das Harz anfängt überall flüssig zu werden und den Schliff genauer zu umschliessen. Jetzt entfernt man das Glas rasch von der Flamme, legt es auf eine ebene Unterlage und drückt das Deckglas mit der Fingerspitze, die man vorher mit einem Handschuhfinger bekleidet hat, sanft und allmählich gegen das Objektglas, damit das Harz vor dem Erkalten sich gleichmässig um den Schliff verteilt und ihn mit einer dünnen Schicht umgibt, und damit auch etwa vorhandene Luftblasen zwischen den Gläsern weggepresst werden. Dann legt man das Präparat möglichst rasch auf einen guten Wärmeleiter, z. B. eine kalte Metallplatte, damit die Erstarrung des Harzes schnell erfolgt, und dieses nicht Zeit gewinnt, in die Dentinröhrchen einzudringen. Letzteres geschieht in gewissem Grade leicht, wenn man beim Einschmelzen zu starke Hitze angewendet hat oder wenn der Kanadabalsam nicht fest genug eingedampft war, so dass er selbst bei niederer Temperatur noch weich bleibt. Ich verwende mit Vorteil zum Belasten des Deckglases statt des Fingerdruckes 1—2 Centimeter dicke, etwas flach geschlagene Bleikugeln. Zu starkes Erhitzen beim Einschmelzen muss man auch deshalb vermeiden, weil dann das Harz völlig zum Sieden geraten kann, und eine Menge Gasblasen entwickelt, und ferner, weil alsdann der Balsam mit der Oberfläche des Schliffes nicht in genaue Berührung tritt, wodurch die Klarheit des Schliffes nicht erreicht wird.

Durch dieses Verfahren gibt man den Schliffen von Zähnen, Knochen und ähnlichen Gebilden die grösstmöglichste Durchsichtigkeit; man bemerkt keine Spur mehr von Schleifstrichen, und falls die Präparation gut gelungen ist, sieht man das Röhrensystem so vollständig, wie es vorhanden ist. Die Präparate halten sich ganz vorzüglich. Ausserdem erreicht man noch den grossen Vorteil, dass die Biegungen der feinen Durchschnitte, welche durch das Auflegen sehr dünner Deckgläser nicht ausgeglichen werden, verschwinden. Zwischen die ebenen Glasflächen in eine sehr dünne Harzschicht eingeschmolzen, liegen die Schliffe überall in einer Ebene, man hat überall ein klares Gesichtsfeld, da alle Teile des Objektes so viel als möglich in einem Focus liegen.

Diese mustergiltige Methode der Herstellung von Zahnschliffen, wie sie Krukenberg zuerst gegeben hat, habe ich im Vorstehenden, nur mit kleinen Zusätzen versehen, fast wörtlich wiedergegeben. Wir folgen derselben, abgesehen von kleineren technischen Verbesserungen noch heute. Letztere bestehen im wesentlichen darin, dass die für Zahnschliffe schon damals gebrauchten, mit der Hand drehbaren Schleifsteine durch unsere später eingeführten zahnärztlichen Schleifmaschinen vorteilhaft ersetzt wurden. Für die Struktur des Schmelzes wird man bei genügendem Material nicht selten besser fahren, wenn man den Zahn für einen Längsschliff von beiden Seiten zu einer dünnen Platte schleift. Schmirgelräder, durch eine Schleifmaschine mit Fussbetrieb getrieben, vollführen diese sonst sehr umständliche Arbeit in kurzer Zeit. Noch viel schneller arbeiten nach meiner Erfahrung Corundumräder. Auch zu der dann folgenden feineren Bearbeitung des Schliffes sind andere Vorschläge gemacht. Kölliker klebte den Schliff mit Kanadabalsam auf ein Glasplättchen, schliff zuerst die eine Seite bis zur vollständigen Politur fertig, erwärmte den Balsam, klebte den Schliff um und schliff und polierte auch die andere Seite. Dann zog Kölliker den Schliff mit Aether aus und trocknete ihn. Die ausführlichste Beschreibung der Anfertigung von Zahnschliffen gab wohl Morgenstern in der Deutschen Monatsschrift für Zahnheilkunde 1885. Ich lasse diese hier im Auszug folgen, weil sie in vieler Beziehung Gutes leistet. Der Autor zeichnet zunächst die Linie an, welche als dünnes Plättchen den späteren Schliff ergeben soll und zwar beschreibt er vor allem die Methode sehr genau, wie man aus einem Objekt mehrere Schliffe selbst durch den Schmelz erzielt.

Nachdem Morgenstern Schliff und Separationslinien markiert hat, fixiert er das Objekt. Lässt sich dasselbe leicht und fest durch Fingerdruck fixieren, dann wende M. kein künstliches Befestigungsmittel an; reicht jener nicht aus, so befestigt er den Zahn mit Hilfe eines Schraubstockes, oder er klebt ihn, wenn derselbe klein und zerbrechlich ist, mittels Siegellack auf ein Stückchen Holz.

Nach der Fixierung des Objektes beginnt die Separation. Dieselbe geschieht im Zahnbeine und Cement mit zahnärztlichen Separierfeilen und der Laubsäge. Bei Präparaten geringen Umfangs arbeitet M. nur mit Separierfeilen; handelt es sich hingegen um ein umfangreiches Präparat aus dem Cement oder dem Zahnbeine, so feilt Morgenstern längs der Separationslinie eine

etwa 1 mm tiefe Furche und vollendet die Trennung mit Hilfe einer kleinen Laubsäge. Die vorher gefeilte Linie dient in diesem Falle zur Führung der Säge, mit welcher letzteren aber schneller gearbeitet werden kann, als mit einer zahnärztlichen Separierfeile.

Befindet sich die Separationslinie im Schmelze, dann schleift M. mittels eines an der zahnärztlichen Bohrmaschine befestigten möglichst dünnen Corundumrades längs jener Linie eine ein bis zwei Millimeter tiefe Furche ein. Nach meiner Erfahrung sind die Diamantscheiben noch von viel besserer Wirkung. Bei dem allerdings kostbaren Material nimmt man heutzutage wenigstens die Carborundscheiben. Uebrigens kann man sich die Diamantscheiben nach dem Verfahren von Herbst aus Neusilberblech und Diamantbord selbst herstellen. Das von Morgenstern empfohlene Abkneifen des eingefeilten Stückes möchte ich nicht empfehlen, weil zu leicht Sprünge in dem harten Zahngewebe entstehen. Besser führt man jedenfalls die Trennung mit Schleifrad, Separierfeile und Laubsäge zu Ende und zwar auch von Zähnen, welche nicht sehr wertvoll sind. Beim Schleifen sind jene neuen Sprünge oft die Ursache für ein Brechen des Schliffes.

Sind mehrere Schliffe aus dem Schmelze zu machen, so schleift Morgenstern mittels des Corundumrades zuerst sämmtliche vorgezeichnete Separationslinien aus, und erst nachdem sämmtliche Furchen hergestellt worden sind, vollendet er die Separation.

Das separierte Stück wird hierauf auf einer durchsichtigen Glasplatte fixiert. Als solche empfiehlt M. am besten einen Objektträger, dessen Grösse natürlich in einem bestimmten Verhältnisse zur Grösse, resp. Anzahl der Präparate stehen muss, welche geschliffen werden sollen. Ich empfehle hierfür Stücke dickeren Spiegelglases, welche ein Gradhalten des Schliffes besser ermöglichen als der dünne Objektträger. Das Verfahren, welches Morgenstern beschreibt, die Präparate an der Glasplatte zu befestigen, ist stets zuverlässig und empfehlenswert. Die Glasplatte wird nämlich vorsichtig über einer Spiritusflamme erhitzt; hierauf wird heisser Siegellack auf die Platte getröpfelt und zwar je nach der Grösse der Präparate verschieden viel. Die Menge des Siegellacks muss stets geringer als das Volumen des betreffenden Präparates sein. Der Siegellack kocht noch einige Zeit auf der erhitzten Platte und breitet sich flächenartig aus. Sobald keine Bläschen mehr aufsteigen, drückt man das Präparat fest gegen die Platte. Der Druck muss lange und fest erfolgen, sodass der noch weiche Siegellack nach allen Richtungen ausweicht und um das Präparat einen

continuierlichen Wall bildet; das Präparat muss ferner so fest eingedrückt sein, dass es von der Rückseite der Glasplatte aus vollkommen deutlich betrachtet werden kann. Die Siegellackeinbettung ist insofern besser als das von Kölliker empfohlene Festkleben mit Kanadabalsam, als man besser sieht, ob der angewendete Druck den Schliff wirklich parallel zur Glasunterlage gebracht hat. Nachdem die Präparate ihre richtige Stellung angenommen haben, wird die Glasplatte in kaltes Wasser gelegt, in welchem der Siegellack nach einigen Minuten vollständig erhärtet und zum Schleifen geeignet gemacht ist.

Morgenstern ist von dem Gebrauche der Schleifräder an der Schleifmaschine zurückgekommen, weil dabei leicht die Präparate ungleichmässig abgeschliffen wurden; der dem Rande des Rades zunächst liegende Teil des Zahnschliffes wurde zu stark und der gegen das Centrum des Rades gerichtete Teil zu wenig geschliffen. Trotzdem M. an dem Farbenspiel der allmählich immer transparenter werdenden Präparate, welches ununterbrochen von der Rückseite des Glases aus während der ganzen Operation beobachtet werden konnte, die verschiedenartige Dicke der einzelnen Teile in jedem Augenblicke wahrnahm und zur Hervorbringung einer gleichmässigen Ebene die Glasplatte verschob und hin und her drehte, sodass jeder Teil des Präparates bald dem centralen, bald dem peripheren Teile des Schmirgelrades ausgesetzt wurde, war der Autor nicht imstande, seine Platte derartig zu regulieren, dass eine gleichmässige Ebene an den Präparaten erzielt wurde.

Morgenstern schleift deshalb die Präparate auf festen Schleifplatten und beschreibt sein Verfahren folgendermassen: „Die Schmirgelplatte muss fixiert und ebenso wie die Schleifräder fortwährend feucht erhalten werden. Sehr empfehlenswert ist seiner Bequemlichkeit wegen folgendes Verfahren: Aus einem Kistendeckel konstruiere man sich eine schiefe Ebene, auf welche die Schmirgelplatte befestigt wird. Eine ca. einen Liter fassende Glasflasche mit abgesprengtem Boden wird nun mit dem Halse nach unten mittels eines Stativs oder Dreifusses befestigt; sie wird mit einem einmal durchbohrten Kork versehen, durch welchen eine knieförmig gebogene, an dem einen Ende zu einer sehr feinen Spitze ausgezogene Glasröhre gelegt ist. Man füllt die Flasche mit Wasser und stellt sie so auf, dass sich dasselbe durch die Glasröhre unmittelbar auf die Schmirgelplatte in einem feinen Strahle oder tropfenweise ergiesst und diese fortwährend berieselt. Wenn Wasserleitung vorhanden ist, so lässt sich das Verfahren

noch vereinfachen, indem man nur nötig hat, einen Gummischlauch an den Hahn der Leitung zu befestigen, an welchen ersteren man eine Glasröhre befestigt, die an dem freien Ende zu einer Spitze ausgezogen ist."

Beim Schleifen werden leicht hin- und hergleitende Bewegungen mit der Glasplatte, an welcher die Präparate befestigt sind, ausgeführt; hierbei hat man besonders darauf zu achten, einen gleichmässigen Druck auf die Platte auszuüben, sodass dieselbe stets in paralleler Richtung mit der Ebene der Schmirgelplatte fortbewegt wird. — M. fährt mit dem Schleifen solange fort, bis er eine gleichmässige Ebene erzeugt hat. Hierauf behandelt M. die Präparate mit einem Arkansasstein, um eine feinere Schleifebene zu erzielen. Dann wird die Glasplatte in ein Gefäss gebracht, welches eine Lösung von absolutem Alkohol und Aether zu gleichen Teilen enthält. Nach wenigen Minuten ist der Siegellack teils aufgelöst, teils in ein feines farbiges Pulver umgewandelt, welches mit einem Pinsel von den Präparaten abgestreift wird. — Diese werden nun noch einmal fixiert, und zwar mit der bereits geschliffenen Seite gegen die Glasplatte. M. schleift nun in der oben beschriebenen Weise und hält die Operation auf der Schmirgelplatte für beendigt, sobald der Schmelz bläulichgrau und vollständig durchsichtig, das Zahnbein atlasartig und transparent und das Cement glasfarbig und farblos geworden ist. Nachdem M. seine Präparate noch einigemal auf dem Arkansasstein unter Wasser hat hin- und hergleiten lassen, legt er die Glasplatte wieder in die oben beschriebene Lösung, um die nun fertigen Schliffe vom Siegellack zu befreien.

Diese Methode Morgensterns gibt sehr gute Resultate, ist aber ein wenig umständlich und lang dauernd. Derselbe kommt bei grossen Präparaten ohne die rotierenden Schleifräder auch nicht aus. Ich persönlich verwende die von Morgenstern empfohlene Methode nur für den letzten Schliff auf einem Arkansasstein. Die weitaus meiste Arbeit lässt sich vorher mit einem grossen Carborundumrad an der zahnärztlichen Schleifmaschine unter häufiger Beobachtung und Drehung des Präparats ausführen. Wer sehr viel Schliffe zu machen hat, dem empfehle ich die Konstruktion einer von mir sehr viel benutzten horizontal laufenden Schleifmaschine, welche durch einen kleinen Elektromotor betrieben wird, und ständigen Wasserzufluss auf der Scheibe hat. Auf einer solchen Maschine kann man in wenigen Minuten die grössten Zahnschliffe in Rohem vorschleifen und dann mit der Hand

die Fertigstellung auf einem belgischen respektive Arkansasstein bewirken.

Obgleich die Krukenbergsche Methode des Einlegens trockener Zahnschliffe die Dentinkanälchen und sonstigen Hohlräume mit ausgezeichneter Klarheit zeigt, und vor allen Dingen auch für mikrophotographische Aufnahmen der Struktur der Zähne geeignet ist. so wurde doch auch für diese Fälle die mikroskopische Färbetechnik herangezogen. Hoehl hatte sehr gute Resultate mit der ursprünglich allerdings nur für Knochen von Zimmermann angegebenen Methode. Der letztgenannte Autor schrieb 1889 darüber Folgendes:

„Dünne Schliffe gut macerierten Knochens werden durch Kochen in Xylol entfettet und gut getrocknet. Dann kommen dieselben in ein mit einer gesättigten alkoholischen Methylviolett- oder Fuchsinlösung (letzteres vorzuziehen) angefülltes Uhrschälchen. Nun wird mehrere Minuten lang gekocht und dann allmählich abgekühlt. Es ist zu empfehlen, diese Prozedur mehrere Male zu wiederholen, da dann die Luft möglichst ausgetrieben wird und die Farbstofflösung besser eindringen kann. Nun nimmt man den Schliff heraus und legt ihn mit den äussersten Kanten auf zwei Präpariernadeln oder die Schenkel einer Pinzette, sorgt aber dafür, dass beide Seiten noch dick mit Farbstofflösung bedeckt sind. Man lasse so den Schnitt zwei bis drei Tage zum Trocknen liegen, und schabe dann mit dem Skalpell den Farbstoff vorsichtig ab. Um den Rest des anhaftenden Farbstoffes zu entfernen, schleife man in Xylol mittels des Fingers. Dann wird der Schliff unter Xylol abgepinselt und in in Xylol gelösten Kanadabalsam eingelegt. Bevor man das Deckglas auflegt, empfiehlt es sich, das Präparat zu erhitzen, wodurch einerseits der Kanadabalsam etwas konsistenter wird, andererseits die feinere Knochenstruktur deutlicher hervortritt.“

Ich kann die guten Resultate wohl bestätigen, noch besser ist aber jedenfalls die von Rupprecht in der Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie empfohlene Methode. Letztere ist sehr gut durchgearbeitet und leistet auch für die Zähne ausgezeichnetes. Die Abhandlung von Rupprecht enthält auch sonst technische Verbesserungen, so dass ich sie hier teilweise wörtlich anführen will. Die Zähne müssen vorher sorgfältig maceriert und vollständig fettfrei sein. Rupprecht empfiehlt für den Knochen sogar nur zu feilen.

Ein dünner Schnitt wird mit einer scharfen und sauberen Ansatzfeile (mit ca. 13 Hiebfurchen pro cm) auf einer Seite ge-

ebnet. — Alles Schleifen vor dem Färben ist zu vermeiden, weil sich dabei zu leicht die Poren verstopfen. — Dann wird der Schnitt mit der ebenen Seite auf einen Kork oder dergleichen aufgekittet und auf der oberen Seite soweit abgefeilt, bis überall die Unterlage resp. der zum Kitten verwendete Siegellack gleichmässig schwach durchschimmert. Der Schliff wird dann etwa 0,4 mm dünner sein. Nun löst man ihn ab und feilt ihn auf einer ebenen Unterlage gleichmässig auf beiden Seiten dünn bis auf etwa 0,3 mm. Dies ist ungefähr erreicht, wenn man gerade gewöhnliche Druckschrift durch die trockene Knochenplatte lesen kann. Dann werden mit einer feinen Ansatzfeile (18 bis 20 Hiebfurchen pro cm) die groben Feilstriche entfernt und damit ist der Schnitt zur Färbung dünn genug. Kleine Knochenstückchen dürfen zur Färbung bis ca. 1,0 mm dick sein; je grösser aber der Schnitt ist, desto mehr muss die Dicke reduziert werden, jedoch nie unter 0,3 mm. Das Verfahren erlaubt, beliebig grosse Knochenschliffe von dieser Dicke zu imprägnieren. Für kleine und mittelgrosse Knochenschnitte ist das Aufkitten zum Feilen nicht erforderlich. Rupprecht verfährt dann in der Weise, dass er das Präparat auf das vordere Ende der groben, fest auf dem Tisch liegenden Feile legt und mit dem oberen Ende einer anderen, mittelgrossen (15 bis 16 Hiebfurchen pro cm) bearbeitet. Dabei liegt das Präparat, je nachdem man die obere Feile führt, auf einer der beiden Feilen fest. Ist der Schnitt dünn genug, so wird er mit einer feinen Feile etwas geglättet. Auch grössere Präparate bis 2×2 cm hat R. nach einiger Uebung mit Vorteil in dieser Weise behandelt. — Um die Poren zu öffnen, wird nun der Feilstaub durch ein paarmaliges Abziehen mit einem Skalpell von beiden Seiten entfernt (Ranvier). Letzteres Verfahren hat vor einem Abwaschen den Vorzug, dass der Schliff trocken bleibt.

Dann erhitzt man den trocken für einige Minuten in Aether gelegten Schnitt schnell auf einer Glasplatte oder dergleichen und lässt ihn von hier aus heiss wieder in das Schälchen mit Aether gleiten, wobei dieser etwas aufzischen muss. Durch die plötzliche Abkühlung zieht sich die in den Poren enthaltene Luft zusammen; der ausserdem darin befindliche Aetherdampf kondensiert sich und es tritt eine hinreichende Fülle mit Aether ein.

Jetzt setzt man ca. 20 cc einer filtrierten konzentrierten Lösung von Diamantfuchsin in absolutem Alkohol in offenem Schälchen auf dem Ofen oder auf einem Drahtnetz über einer offenen Flamme an und erhitzt bis zum Sieden. In die siedende Farblösung werden

nun die Schliffe oder der Schliff, der ca. 5 Minuten oder länger im Aether gelegen hat, auf dem kürzesten Wege und möglichst schnell flach eingebracht. Der schon bei + 34.9° C. vergasende Aether treibt aus allen zugänglichen Hohlräumen auch den Luftrückstand ganz heraus. Hat man nun ca. 5 Minuten weiter gekocht, so kühlt man das Farbbad bis unter + 34° C. ab. Der Aetherdampf in den Poren verdichtet sich, soweit er nicht schon verdrängt ist und vermischt sich mit der in das Vacuum eindringenden Farblösung. Um möglichst viel Farbstoff in den Höhlen und Kanälchen abzulagern, erwärmt man wieder und dampft bei ca. 70° zur Trockne ein.

Danach wird der Schliff wieder herausgenommen und eventuell durch Erwärmung noch völlig getrocknet. Die dicke, daran haftende Fuchsinschicht kratzt man trocken mit einem Messer ab. Man hüte sich, Alkohol oder Wasser mit dem gefärbten Schnitt in Berührung zu bringen, vermeide es auch, Wasser oder Alkohol während der Arbeit mit Fuchsin an die Hände oder Geräte zu bringen, und trockne sich nach etwaigem Waschen immer sorgfältig ab.

Auch das nun folgende Schleifverfahren Rupprechts verdient grosse Beachtung. Es erlaubt, Schnitte von beliebiger Grösse schnell, gleichmässig und hinreichend dünn zu schleifen. Vor dem zu diesem Zweck ebenfalls gebräuchlichen Verfahren, zwischen zwei Bimssteinen zu schleifen, hat es den Vorzug, dass man sieht, wo der Schliff liegt, infolgedessen seinem Herausgleiten leicht vorbeugen und den Druck so verteilen kann, dass man ein relativ gleichmässig papierdünnes Plättchen erhält. Erforderlich ist eine etwa quartblattgrosse matte Glasplatte und eine ebensolche etwa handtellergrosse. Letztere ist am besten rund und möglichst dick. Auf die grosse Platte schüttet man eine gute Portion gewöhnliches Bimssteinpulver (nicht Schmirgel); darauf giesst man reichlich durch geglühtes Kupfersulfat wasserfrei gemachtes Benzin, dem man wenig Vaselinöl, etwa 1:10 zusetzt. Nun verteilt man ein wenig mit der Reibeplatte, bringt dann den Schnitt zwischen beide Platten und schleift unter gleichmässigem, kräftigem Druck. Das verdunstete Benzin muss man ab und zu ersetzen, desgleichen im Anfang reichlich Bimssteinpulver nachgeben. Sehr schnell wird der Schliff papierdünn und durchsichtig. Ist er leicht biegsam und rot durchscheinend, so spült man ihn mit Benzin ab, untersucht bei schwacher und mittlerer Vergrösserung auf Gleichmässigkeit und Dicke und hilft hier und da, eventuell durch Schleifen zwischen Fingerbeere und Platte nach. Die

öftere Beobachtung des in Oel und Benzin abgespülten Schliffes unter dem Mikroskop zeigt, wann der Schliff dünn genug ist. Je feiner der Schliff wird, desto weniger Bimsstein muss man nehmen und desto geringer muss der Druck werden. Ab und zu müssen, bei grossen Schliffen oder einer grösseren Zahl die Platten mit einem Lappen und Benzin abgewischt und muss wieder reiner Bimsstein genommen werden. Ist eine hinlängliche Feinheit erreicht, dann wird der Schliff mit wasserfreiem Benzin von allem Bimssteinpulver befreit und nun mit den Fingern auf einem Arkansasstein in Vaselinöl mit wasserfreiem Benzin auf beiden Seiten geglättet und verfeinert. Kontrolliert man jetzt unter dem Mikroskop, so sieht man deutlich die einzelnen roten bis blauschwarzen Kanälchen von der helleren hier und da schon ganz weissen Grundsubstanz sich abheben. Nun wird wieder mit Benzin abgewaschen, damit alles Oel entfernt wird, auf Fliesspapier getrocknet und noch auf Schreibpapier poliert. Letzteres geht sehr schnell und hat den Vorzug, dass frei an der Oberfläche liegendes Fuchsin möglichst entfernt oder geglättet wird, wodurch der Schliff weniger zu Farbdiffusionen neigt. Legt man einen solchen fertigen Schliff auf eine warme Unterlage, so muss er bei genügender Dünne ähnlich wie ein Gelatineplättchen sofort eine nach der Wärmequelle hin konvexe Form annehmen.

Wie schon erwähnt, war bei dem Fuchsin, welches R. zur Verfügung stand, gewöhnliches Xylol zur Einbettung nicht ohne Schädigung des Präparates zu gebrauchen; auch wasserfreies gab manchmal Diffusionen der Färbung, da es vielleicht von dem unmerklich beschlagenen Objektträger oder später noch Wasser aufgenommen hatte, welches bei der langsamen Verdunstung dann doch allmählich sich geltend machte. Ebenso führte auch das in dem rohen dickflüssigen Kanadabalsam enthaltene Terpentin eine Lösung des Fuchsins herbei, da dieses sich ja nicht so intensiv mit dem Gewebe verbindet, wie dies bei Weichteilpräparaten der Fall ist. Rupprecht versuchte deshalb eine feuchte Einbettung zu erreichen. Die besten Resultate erhielt der Autor bei Einbettung in Colophonium, welches pulverisiert in erwärmtem, wasserfreien Benzol gelöst wurde. Der nach dem Erkalten zähflüssigen Lösung wurde, um sicher alles Wasser zu absorbieren, etwas geglühtes Kupfersulfat zugesetzt. Kanadabalsam kann man in gleicher Weise nur verwenden, wenn er sehr lange und bis zu glasartiger Sprödigkeit ausgetrocknet ist. Aber auch dann ist er noch weniger indifferent als Colophonium. Die Einbettung geschieht in gewöhnlicher Weise,

aber so, dass sowohl Deckglas wie Objektträger mit Balsam versehen werden. Dabei ist es vorteilhaft, Objektträger und Deckglas zu erwärmen, weil dann ein Beschlagen unmöglich ist. Man thut auch gut, nach dem Auflegen des Deckglases die zähflüssige Einbettungsmasse durch Beschweren mit Patronen und kurzes Erwärmen zu verteilen. Die so eingebetteten Präparate erhärten sehr rasch und behalten meist ihre volle Schönheit.

Kurz zusammengefasst gliedert sich also das Verfahren in folgende Manipulationen:

1. Abfeilen des Schnittes auf 0,3 mm und Abziehen mit dem Skalpell.

2. Einlegen des trockenen Schnittes in Aether (einige Minuten). Schnelles Erhitzen des Schnittes auf einer Glasplatte oder dergleichen.

3. Schnitt aus dem Aether in siedende konzentrierte und filtrierte alkoholische Lösung von Diamantfuchsin schnell und flach einbringen.

4. Farbbad mit dem Schnitt 5 Minuten kochen, dann unter + 34° C. erkalten lassen.

5. Farbbad bei circa 70° zur Trockne eindampfen.

6. Farbstoff mit dem Messer vom Schnitt entfernen.

7. Schleifen zwischen zwei matten Glasplatten mit Bimsstein in Vaselinöl und wasserfreiem Benzin 1 : 10.

8. Nachschleifen auf dem Arkansasstein in Vaselinöl und wasserfreiem Benzin.

9. Abwaschen mit Benzin, Trocknen und zwischen Schreibpapier polieren.

10. Einbetten mit Colophonium in wasserfreiem Benzol unter Erwärmen des Objektträgers.

Die angeführte Methode von Rupprecht ist jedenfalls die beste, nach welcher man auch Zahnschliffe, deren Hohlräume gefärbt werden sollen, mit Farbstoffen imprägniert. In Bezug auf die Erkenntnis der Struktur leistet sie bei gleicher Vorsicht allerdings nicht mehr als die alte Krukenbergsche Methode.

II. Zahnschnitte.

Ausser in den ersten, embryonalen Stadien der Entwicklung der Zahngewebe können wir nur in einem einzigen Falle ohne weiteres ein Zahngewebe in dünne Schnitte zerlegen. Infolge der beginnenden Aufnahme von Kalksalzen ist nämlich nur die spätere

Pulpa des Zahnes sofort für die mikroskopische Untersuchung geeignet, sobald sie aus ihrer festen Hülle entfernt wird. Dies geschieht durch ein Aufsprengen der festen Zahnmassen im Schraubstock, oder noch besser durch eine schneidende Zange, mit welcher der Zahn der Länge nach gespalten wird. Die Pulpa lässt sich alsdann mit einer Präpariernadel leicht von ihrer Unterlage abheben. Es ist selbstverständlich, dass für die Untersuchung der organischen Substanzen der Zähne dieselben Methoden angewandt werden müssen, wie sie die allgemeine mikroskopische Technik lehrt. Es gehört dazu vor allen Dingen das Fixieren und ein sorgfältiges Härten.

Für das Fixieren der Zahngewebe sind eine grosse Anzahl der allgemeinen Fixierungsmittel verwendbar. Die Müllersche Flüssigkeit, die Chromsäure in 0,5%iger Lösung werden schon sehr lange Zeit verwendet. Für feinere Untersuchungen halte ich die Flemmingschen und die Hermannsche Osmiumsäureverbindungen für die besten. In Bezug auf die Dauer der Einwirkung dieser Substanzen verweise ich auf die Lehrbücher der allgemeinen mikroskopischen Technik. (Ich empfehle hier neben den grösseren Werken vor allem die „Tabellen zum Gebrauch bei mikroskopischen Arbeiten“ von Behrens.) Das neuere Formalin ist für die Untersuchung der Zahngewebe nach meinen Beobachtungen infolge seiner Billigkeit, leichten Anwendbarkeit und schnellen Durchdringungsvermögens ebenfalls ein ganz vorzügliches Fixierungsmittel. Ich verwende dasselbe in 4%iger Lösung und es erweist sich nahezu als Universalmittel für histologische Untersuchungen der Zahngewebe.

Dem Fixieren muss ein Auswaschen des angewandten Mittels, nach dieser Operation wieder ein sorgfältiges Härten des Präparats unmittelbar folgen. Da das Formalin gleichzeitig härtet, so braucht kein Wässern nach der Fixierung zu erfolgen. Im Uebrigen muss das Härten mit allergrösster Sorgfalt erfolgen und hängt der ganze Erfolg oft nur von dieser Behandlung ab, zumal wenn schon verkalkte Zahngewebe schnittfähig gemacht werden sollen. Bei der Entkalkung derselben entstehen sonst sehr häufig Schrumpfungen und Verschiebungen der organischen Bestandteile. Ausser in Formalin kann man die nach anderen Methoden fixierten Zahngewebe sehr gut in steigendem Alkohol erhärten und zwar bringt man sie zunächst in ca. 70%igen, nach 24 Stunden in 90%igen Alkohol; in diesem können sie längere Zeit aufbewahrt werden.

Nachdem die Präparate gut gehärtet sind, ist eine isolierte Pulpa zum Schneiden fertig. Sowie jedoch Kalksalze in derselben vorhanden sind, oder wenn, wie es weitaus am meisten der Fall ist, ganze Zähne in Schnitte zerlegt werden sollen, müssen die Kalksalze ausgezogen werden. Dies geschieht durch die Entkalkungsflüssigkeiten, von denen ich hier nur einige wichtige aufführen möchte. Das beste, wichtigste Mittel ist jedenfalls im allgemeinen die Salpetersäure und zwar in einer Konzentration von 2—10%, je nachdem das Gewebe von Kalksalzen durchsetzt ist. Ein Zusatz von Alkohol bei der Entkalkung ist sehr empfehlenswert, weil dadurch der Erweichung der organischen Substanz vorgebeugt wird. Haug fand, dass Phloroglucin die organischen Gewebe vor dem Einfluss der starken Mineralsäuren schützt. Ich habe die Methode bei Zähnen geprüft und gute Resultate erhalten. Haug empfiehlt folgende Vorschrift: Phloroglucin 1,0, Acid. nitric. 5,0, Alkohol 70,0, Aqua destillata 30,0. Weit einfacher gestaltet sich jedoch eine Entkalkung, besonders in Formalin gehärteter Präparate, wenn man zu einer 4%igen Formalinlösung allmählich steigend etwa 5—10% Salpetersäure setzt. Die Präparate entkalken darin sehr schnell und schonend und kann ich diese Methode für den allgemeinen Gebrauch dringend empfehlen. v. Ebner empfahl Salzsäure und zwar mit Zusatz von Alkohol und Kochsalz nach folgendem Rezept: Acid. muriat. Cl. Na. ana 2,5, Alkohol 500, Aq. destill. 100. Auch Pikrinsäure in gesättigter wässeriger Lösung, Holzessig in konzentrierter Form und Chromsäure in 1—2%iger Lösung wurden empfohlen. Alle diese Mittel werden meines Erachtens durch die oben erwähnte Salpetersäure-Formalinentkalkung in Bezug auf Schnelligkeit, Einfachheit und Brauchbarkeit übertroffen. Nur wenn spezieller Wert auf die Erhaltung der Blutkörperchen in den Gefässen gelegt wird, ist die langsame Entkalkung besonders mit Müllerscher Flüssigkeit vorzuziehen. Die Entkalkungsflüssigkeiten müssen häufiger gewechselt werden und so lange einwirken, bis die Zahngewebe vollständig schneidbar sind. Der Schmelz geht bei dieser Prozedur infolge der sehr geringen in ihm enthaltenden Substanz vollständig verloren.

Nach dem Entkalken muss ein höchst sorgfältiges Auswaschen der Säure aus dem Gewebe stattfinden, und zwar geschieht das am besten durch Einlegen der Stücke in fliessendes Wasser für mindestens 24 Stunden. Das letzte Waschwasser darf auf Prüfen mit Lackmuspapier keine Spur von Säure mehr enthalten.

Darauf werden die Gewebstücke einer nochmaligen Härtung, sei es in steigendem Alkohol, sei es in Formalin, unterzogen. Hiernach sind sie schnittfähig.

Ich muss hier die allgemeine Technik des Schneidens mikroskopischer Präparate voraussetzen. Da die Zahnsubstanzen eine ungleiche Härte haben, und die Weichteile derselben sich trotz der Härtung beim Schneiden leicht loslösen, so müssen wir eine Durchtränkung der Gewebe mit Mitteln herbeiführen, welche ursprünglich flüssig sind, durch geeignete Massregeln jedoch in den festen Zustand überführt werden können. Für Zahnpräparate kommen im wesentlichen nur das Celloidin und das Paraffin in Betracht. Ersteres wird man speziell für Kieferpräparate anwenden, bei welchen infolge der Entkalkung grössere Lücken im Gewebe vorhanden sind. Ich empfehle das Celloidin insbesondere für die Anfertigung von ganzen Kieferdurchschnitten, wenn es sich z. B. um die Feststellung der Vorgänge beim Durchbruch der Zähne handelt. Im übrigen ist das Paraffin infolge der erreichbaren dünneren Schnitte und der leichteren und schnelleren Verwendung allen anderen Einbettungs- und Durchtränkungsmitteln vorzuziehen. Ich warne jedoch vor zu starker und langer Erhitzung im Paraffinofen. Der Zahnknorpel wird dadurch leicht zu hart und spröde.

Wenn man keine Serienschnitte herstellen will, ist bei gut gehärteten entkalkten Zähnen das Schneiden derselben mit dem Gefriermikrotom eine Vereinfachung. Die Weichteile sind ja verhältnismässig so klein, dass die Bildung der Eiskrystalle nur sehr wenig stört. Ich kann die Methode zur Herstellung von Uebersichtspräparaten insbesondere nach voraufgegangener Formalinhärtung nur dringend empfehlen. Das Aufkleben und alle weiteren Manipulationen an den Schnitten folgen wiederum den Lehren der allgemeinen mikroskopischen Technik.

Ich lasse nun einige Methoden folgen, welche von einzelnen Autoren für die Histologie der Zähne speziell für die Technik des Färbens angegeben sind.

Zur Untersuchung der feineren Zellenstruktur der Zahnpulpa ist nach Röse, einem der bedeutendsten Zahnhistologen, unzweifelhaft am brauchbarsten die Holzessigmethode nach Mährenthal. Man fixiert die Objekte in Flemmings Lösung oder 1%iger Osmiumsäure, härtet in Alkohol, entkalkt in 5—10%iger Salpetersäure und bringt dann die entkalkten und wieder gehärteten Präparate in ungereinigten Holzessig. Nach weiterer Ueberführung in absoluten Alkohol kann man dann in Paraffin einschliessen und

schneiden. Weitere Färbung ist unnötig; Röse hat nach seiner Doppelfärbung mit Carmin und Bleu de Lyon auch hier noch eine sehr diskrete Blaufärbung des Knochens und Zahnbeins erzielt. Nach Röse sollen die Schnitte bei dieser Methode nicht dicker als 10 Mikra (1/100 mm) sein. Doch kann man bei einiger Uebung auch Serien von 5 Mikra (1/200 mm) herstellen. „Man erhält nun mikroskopische Bilder, die sehr an eine fein ausgeführte Kreidezeichnung erinnern. Nicht allein sind die Kerne und ihre Teilungsfiguren scharf zu sehen, sondern auch die Grenzen der Zellen, ihre Ausläufer und die Bindegewebsfibrillen.“

Das von Röse eingeführte Bleu de Lyon wurde von diesem Autor auch in der Kombination mit vorhergehender Borax-Carminfärbung benutzt. Sachse hat die Methode insofern noch etwas verbessert, als er eine etwas dunkler gefärbte Lösung auf die Präparate etwa 6—8 Stunden wirken liess, welche Zeit dann stets zur Färbung genügt. Den vorhergehenden Borax-Carmin darf man vorher nicht mit angesäuertem Wasser resp. Alkohol auswaschen, da sonst das ganze Präparat die blaue Farbe annimmt. Später muss unter häufigem Wechsel mit Alkohol ausgewaschen werden, da sonst unter dem Deckglase eine Nachfärbung eintritt. Das Zahnbein wird nach dieser Methode scharf blau gefärbt, während alle Zellen die Carminfärbung zeigen.

Weil hat gelegentlich seiner Mitteilungen über die Pulpa in der deutschen Monatsschrift für Zahnheilkunde eine ganze Reihe von Methoden zur Färbung der Pulpa aufgeführt. Derselbe empfahl ebenfalls Anilinfarben, allerdings zur Kernfärbung, und führt folgende Methoden auf.

„1. Safraninfärbung.

Bereitung: 1 g Safranin wird in 100 ccm absolutem Alkohol gelöst, sodann 200 ccm destilliertes Wasser zugeführt.

Anwendung: Die Zähne werden aus dem Alkohol in Wasser, womöglich in fliessendem, etwa 1/4 Stunde lang ausgewaschen. Aus diesem kommen sie in die Farbe und werden darin gelassen, bis sie intensiv gefärbt erscheinen, was 3—6 und mehr Stunden dauern kann. Ist die intensive Färbung erreicht, so nimmt man sie heraus und spült sie einige Sekunden mit Wasser ab, um das Gros des Farbstoffes zu entfernen; dann kommen sie in absoluten Alkohol. In letzterem gehen vom Objekte Farbstoffwolken ab, die immer weniger dicht werden bis zum Verschwinden. Das Objekt darf aber die rote Farbe nicht ganz verlieren. Färbt sich der Alkohol, welcher natürlich inzwischen erneuert wurde, nicht mehr rot, geht

also vom Präparat keine Farbe mehr ab, so legt man es zur Aufhellung in ätherisches Oel. Solche sind: Bergamott-, Zedern-, Nelken-Oel, letzteres riecht sehr scharf, hellt aber gut auf. Das Verweilen in Oel darf aber nur kurze Zeit, etwa 1—2 Stunden dauern, weil es die Safraninfarbe angreift.

Obiger Farbstoff tingiert hauptsächlich die Kernfiguren schön. Er ist von Flemming und Fischer empfohlen."

Die Safraninfärbung ist, kombiniert mit der Fixierung in Flemmingscher Lösung, jedenfalls ein ganz vorzügliches Färbungsmittel, speziell auch für entwicklungsgeschichtliche Zahnpräparate.

2. Bismarckbraun.

Herstellung: 4 g werden in 100 ccm Wasser gekocht. Nach dem Erkalten setzt man den dritten Teil absoluten Alkohol hinzu, lässt die Mischung erkalten und filtriert sie dann.

Anwendung: Die Objekte werden wie oben in Wasser ausgewaschen, aus demselben in die Farbe übertragen. Je nach Grösse lässt man sie 3—5 Stunden darin, dann wird das Gros des Farbstoffes mit Wasser abgespült, bis keine Wolken mehr abgehen. Dann kommen sie in absoluten Alkohol, wo sie 2 Stunden und länger liegen bleiben können. Im Alkohol entfärbt sich das Protoplasma der Zellen, der Farbstoff verlässt aber die Kerne nicht. Aus dem Alkohol legt man sie auf mehrere Stunden, wenn nötig sogar über Nacht, in ein ätherisches Oel.

Nach meiner Erfahrung scheint diese Farbe durch die später erfolgende Behandlung mit Chloroform und Kanadabalsam etwas zu verblassen, da meine mit ihr gefärbten Schliffe alle etwas hell ausfielen.

3. Saurer Carmin.

Bereitung: 2 g Carmin werden in 100 ccm Wasser suspendiert, dann tropfenweise, unter Umrühren, Salmiakgeist (Liquor Ammon. caust.) hinzugefügt, bis das Ganze eine kirschrote Farbe annimmt. Dann setzt man, ebenfalls tropfenweise, Eisessig hinzu, bis die kirschrote Farbe in eine ziegelrote übergeht. Die Reaktion ist sehr fein, es kommt auf einen Tropfen an. Die Flüssigkeit wird filtriert und ist zum Gebrauche fertig.

Anwendung: Die Zähne kommen aus dem Wasser auf wenigstens 24 Stunden in die Farbe. Dann legt man sie in:

Acid. muriat.	1,0
Glycer.	50,0
Aqu. dest.	50,0.

In dieser Flüssigkeit bleiben sie mehrere Stunden, bis sich der Farbstoff auf die Kerne reduziert. Dann werden sie einige Minuten in 90%igem Alkohol ausgewaschen und auf längere Zeit, mindestens 12 Stunden, in Nelkenöl übertragen.

4. Borax-Carmin (wässriger).

Herstellung: 8 g Borax werden mit 2 g Carmin fein verrieben, mit 130 g Wasser übergossen und mit dem Glasstabe tüchtig gerührt. Die so gewonnene Mischung lässt man einen Tag stehen; die überstehende Flüssigkeit wird abgegossen und filtriert und ist so zum Gebrauche fertig. (Der Rückstand kann gewogen und zu weiterer Farbe verarbeitet werden.)

Behandlung: Die Zähne werden aus dem Alkohol in Wasser ausgewaschen, dann auf 12—24 Stunden in obige Farbe gelegt. In dieser Zeit werden sie intensiv rot gefärbt, dann übertragen in:

Acid. muriat. 1,0
70%igen Alkohol 100,0 ccm.

In diesem eingesäuerten Alkohol bleiben sie, bis sich der Farbstoff auf die Kerne konzentriert hat, was mindestens 12 Stunden, fast ebensolange als die Färbung braucht.

Am sichersten geht man, wenn man den sauren Alkohol ein paarmal wechselt. Wird er nicht mehr rot, so kann man die Zähne weiter behandeln. Sie werden dann wie oben durch 90%igen und absoluten Alkohol in ein ätherisches Oel übertragen.

5. Alkoholischer Borax-Carmin.

Er wird einfach dadurch gewonnen, dass man ein Volumen des sub 4 geschilderten Borax-Carmin mit 2 Volumen absolutem Alkohol versetzt.

Anwendung: Die Objekte kommen aus dem Wasser in die Farbe, verbleiben darin 2—3 Tage, event. noch länger, sie kommen dann in 70%igen Alkohol, dem auf je 100 ccm 8, höchstens 10 Tropfen Salzsäure zugesetzt werden. Darin lässt man sie 24—36 Stunden, worauf sie wie oben durch 90%igen und absoluten Alkohol in Nelkenöl überführt, in welchem sie 12 Stunden und mehr bleiben können."

Ich habe diese von Weil angeführten Methoden sämmtlich nachgeprüft und kann sie nur empfehlen.

Röse trat besonders für die Gerlachsche Carminfärbung (carminsaures Ammoniak) ein, in welcher die Zähne mindestens 8—14 Tage liegen müssen, um dann nach gründlicher Auswaschung in steigendem Alkohol weiter behandelt zu werden.

Als ein sehr gutes Kernfärbemittel betrachte ich noch von den Anilin-Tinktionsmittel das Thionin, und das Benzoazurin.

Noch schärfere und exaktere Kernfärbungen erhalten wir mit dem Hämatoxylin, speziell in Verbindung mit Alaun. Dem Hämatoxylin kommt an Schärfe der Kernfärbung nur das Kernschwarz gleich, welches speziell für die Mikrophotographie sehr geeignet ist. Man kann diese Färbungsmittel vorteilhaft mit diffusfärbenden Tinktionen verbinden. So z. B. das Hämatoxylin mit Eosin, Pikrinsäure oder Carmin, das Kernschwarz mit Cochenillealaun. Zu viele „Schönfärberei“ soll man indessen auch bei Zahnschnitten nicht treiben, sie verwirren das Strukturbild und geben zu Trugschlüssen leicht Veranlassung. Obgleich alle jene unzähligen Tinktionen, welche für das Knochengewebe empfohlen sind, auch bei den Zähnen in Anwendung kommen können, beschränke ich mich auf die Anführung obiger Färbungsmittel, da sie für die Kernfärbung und die Differenzierung der Gewebe vollständig genügen.

Es wird hier jedoch zweckmässig sein, die Methoden derjenigen Autoren ausführlicher anzuführen, welche Untersuchungen über Nerven des Zahnbeins geführt haben. Für die Nervenstämme und ihre Verästelungen mit Axencylindern sind meines Erachtens schon Präparate vollkommen genügend, welche in Osmiumsäure, Müllerscher Flüssigkeit und Formalin behandelt werden. Eine Tinktion mit Hämatoxylin, eventuell nach Weigert, oder eine Silberbehandlung begünstigt die Differenzierung noch bedeutend. Ich wiederhole jedoch hier nochmals, dass die Nervenendigungen bis in das Zahnbein hinein meines Erachtens noch durch keine Methode der Nervenfärbung festgestellt ist, da auch nicht eine derselben für die Nervenendigungen spezifisch ist, wenn es sich wie in den Zähnen, darum handelt, die marklosen Fasern, von Ausläufern der Zellen und von Bindegewebsfibrillen (Ebnerschen Fibrillen) zu unterscheiden, welche am gleichen Orte in ungeheurer Anzahl vorhanden sind. Trotz dieser gegenteiligen Meinung möchte ich die Angaben jener Autoren ziemlich ausführlich bringen, um möglichst viele Fachgenossen zur Nachprüfung zu veranlassen, und womöglich dadurch eine definitive Entscheidung, ob Nerven in den harten Zahngeweben sind oder nicht, hervorzurufen.

Morgenstern äussert sich im Correspondenzblatt für Zahnärzte 1899 folgendermassen: „Zu meinen Versuchen wurden die Pulpen der unteren Schneidezähne und Molaren von Hunden,

Katzen und Kaninchen benutzt und es gelang mir jedesmal, die Nerven zu färben. Nach einiger Zeit bemerkte ich, dass sich die Pulpanerven des Kaninchens am besten färben liessen und so beschränkte ich meine Beobachtungen nur noch auf dieses Tier, und zwar meistens auf die Pulpen der unteren Molaren. In diesen Zähnen besteht die Pulpa aus zwei beinahe vollständig getrennten Teilen, welche nur noch durch den unteren Teil der peridentalen Membran zusammenhängen. Nachdem man die dünne Dentinlage von den vorderen und hinteren Oberflächen der Molaren hinweggeschnitten hat, kann die Pulpa sehr leicht entfernt werden, indem man eine feine Nadel unter den einen Teil der Pulpa einführt und eine leicht ziehende Bewegung mit derselben macht. Auf diese Weise entfernte Pulpen waren kaum zerdrückt oder zerrissen und habe ich mich oft überzeugt, dass die Pulpen von Molaren des Kaninchens auf diesem Wege entfernt werden konnten, ohne dass der grössere Teil der Odontoblastenlage verschoben wurde.

Die bei diesen Versuchen zur Anwendung gebrachte Art des Färbens ist die intravitale Ehrlichsche Methylen-Blaufärbe-Methode. Derselbe bewies vor einigen Jahren, dass durch die Injektion einer Lösung von Methylenblau und gewöhnlichem Salz, in die Blutgefässe eines narkotisierten Tieres, eine Färbung der peripheren Nerven erzielt wurde. Diese Methode ist nun mit verschiedenen Modifikationen fast allgemein gebräuchlich bei Forschungen betreffs des peripheren Nervensystems. Bei den meisten Untersuchungen ist die Anwendung folgendermassen: Das Versuchstier, Hund, Katze oder Kaninchen, wurde mit Chloroform getötet und sobald der Tod erfolgt war, die Carotis der einen Seite blosgelegt und eine Canüle eingeführt. Durch dieselbe wurde nun eine 1%ige Lösung von Methylenblau in gewöhnlicher Salzlösung eingespritzt, bis die Zunge und Lippen eine tief dunkle Färbung angenommen hatten. 10—20 ccm (natürlich je nach der Grösse des betreffenden Tieres) sind genügend. Nach ungefähr 30 Minuten wurde der Unterkiefer entfernt und durch Abwischen mit einem trockenen Tuche gereinigt. Hierauf wurde der Kiefer mit einer Knochenzange oder einem starken Messer aufgebrochen und die Zähne entfernt, indem man Sorge trug, die Pulpa nicht zu verletzen. Die Pulpen wurden hierauf, wie oben beschrieben, entfernt und auf eine mit einer einfachen Salzlösung befeuchtete Glasplatte gelegt. Nach wenigen Augenblicken entwickelte sich die charakteristische blaue Farbe in den Achsencylindern der Pulpanerven. Die Pulpen wurden dann von Zeit zu Zeit examiniert, bis man die

Nerven für genügend gefärbt fand, um die Untersuchung zu beginnen. Bei auf solche Art erzielten Präparaten waren die Achsencylinder der Nerven tiefblau gefärbt, das andere Gewebe jedoch gar nicht oder nur ganz schwachblau. Unglücklicherweise verblassen jedoch die nach dieser Methode zubereiteten Präparate ziemlich rasch, wenn man sie nicht sofort fixiert, und verlieren auch nach dem Fixieren noch etwas an Farbe. Als Fixativ benutze ich eine gesättigte wässerige Lösung von pikrinsaurem Ammonium (Dogiel) oder eine Lösung von Ammoniummolybdat (Bethe). Die ersteren Präparate werden in eine Mischung von Glycerol und pikrinsaurem Ammonium, die letzteren entwässert und in Balsam gelegt.

In jungen Zähnen von mehr oder weniger ausgesprochener Kegelform, in den Schneidezähnen von neugeborenen Schweinen, den Eckzähnen und Backenzähnen von Katzen und den Backenzähnen von Kaninchen etc. etc. treten aus den Pulpahörnern vielfach hyaline Stränge durch das Zahnbein, die sich bis in den Schmelz hinein erstrecken. Dieselben zeigen nach den gewöhnlichen Färbemethoden eine diffuse Färbung und lassen keinerlei Struktur erkennen. Es gelang mir jedoch nach verschiedenen Methoden die histologischen Bestandteile dieser hyalinen Stränge festzustellen und den Nachweis zu führen, dass sie in ihrem Innern Bündel von Achsencylindern enthalten. Besonders folgende Methode gab mir gute Resultate:

Der betreffende Körperteil des jungen, eben getöteten Tieres wird zuerst in Formol (zuerst eine 10%ige, später allmählich konzentrierter bis 20%ige Formolinlösung event. auf einen Monat) dann in Spiritus von aufsteigender Konzentration gehärtet; hierauf langsame Entkalkung in Ameisensäure von 10%, die allmählich bis 20% gesteigert wird. Nach vollständiger Entkalkung gründliche Entsäuerung in fliessendem Wasser, dann Nachhärtung in 10%igem Formalin ca. 5—10 Tage, hierauf Einlegen in eine Lösung bestehend aus:

Doppeltkohlensaurem Kali	5	Teile
Chromalaun	2	„
Wasser	100	„

Man lässt die Stücke mindestens 5 Tage in dieser Lösung, die in den ersten beiden Tagen gewechselt werden muss, wenn sie trübe wird. Hierauf Nachhärten in Spiritus und Einbetten in Celluloidin.

Der Celluloidinblock wird nun wie bei der Weigertschen Markscheidefärbung in eine Lösung von zur Hälfte mit Wasser

versetzten, gesättigten Lösung von cuprum aceticum gebracht und verbleibt in derselben bei 35° C. mindestens 6 Tage. Hierauf Einlegen in 70%igen Alkohol, dann Schneiden.

Die Schnitte werden nun nach Plattners Eisenchlorid-Dinitroresorcinverfahren behandelt, doch mit folgender Modifikation: sie kommen zuerst in eine 0,25%ige Lösung von Eisenchlorid, in welcher sie so lange liegen bleiben, bis sie hellgelb oder hellbräunlich geworden sind, dann langes Auswaschen in Wasser und Uebertragen in eine filtrierte Lösung von Dinitroresorcin in 75%igem Spiritus, bis die Schnitte anfangen grün zu werden. — Die hyaline Substanz der Stränge erscheint grau und die Achsencylinder, die sie bündelweise enthalten, sind smaragdgrün gefärbt.

An Osmiumpräparaten zeigen viele Nervenfasern im Zahnbein schwarze Scheiden. Ich hielt dieselben früher für Markscheiden und beschrieb sie als solche. In Zähnen von Rindern konnte ich mit Hilfe der Weigertschen Markscheidemethode den Nachweis führen, dass auch markhaltige Nervenfasern stellenweise in die Odontoblastenschicht treten; ich konnte jedoch mit dieser Methode markhaltige Nervenfasern im Zahnbein nicht darstellen." Soweit Morgenstern. Meines Erachtens geht es diesem Autor ähnlich wie Bödecker. Beide leisten in der Erzeugung von Kunstprodukten alles mögliche und verwenden möglichst komplizierte Methoden, wo einfachere mehr leisten und verhängnisvolle Irrtümer weniger leicht vorkommen.

Römer hat sich in seiner zahnhistologischen Studie weit zurückhaltender in Bezug auf das Vorhandensein von Nerven im Zahnbein ausgesprochen. Der Autor bildet eigentlich nur ein einziges, in diesem Leitfaden Fig. 106 wiedergegebenes Präparat ab und äussert sich über seine Methoden folgendermassen:

„Zahnbrettchen, deren Dicke 2 mm nicht übersteigen darf, werden in $33^1/_3$%ige wässerige Ameisensäurelösung eingelegt und nach 5—8 Tagen, in welchen die Säure dreimal erneuert werden sollte, 24 Stunden lang in destilliertem Wasser ausgewaschen. Bei ganz dünnen Stücken und bei solchen, welche, wie z. B. Kieferstücke von jungen Katzen, weicher sind als ausgebildete Zahnstücke von Menschen, genügen schon 2—3 Tage, sie schneidbar zu machen, ohne Gefahr zu laufen, dass das Mikrotommesser Scharten bekommt. Von Zähnen schleife ich vorher den ganzen Kronenschmelz mittels der zahnärztlichen Schleifmaschine ab, weil Zahnstücke mit Schmelz eine bedeutend längere Zeit zur Entkalkung gebrauchen. Will ich Zahnstücke nach der Entkalkung mit Golgis Silbermethode

färben, so entkalke ich mit einem Gemisch von Müllerscher Flüssigkeit und $33^1/_3$%iger Ameisensäure zu gleichen Teilen. Ehe man in Celloidin einbettet, überzeugt man sich mittels einer feinen Nadel, ob das Stück in allen Teilen entkalkt ist.

„Die Nervenfärbung gelingt sowohl an frischen als auch an solchen Zähnen, die vorher mit Formalin oder Müllerscher Flüssigkeit behandelt worden sind. Man kann dazu Goldchlorid oder Goldchloridkalium verwenden. Die schönsten Präparate erzielte ich mit einem Gemisch von 1% Goldchloridlösung und 95% Alkohol zu gleichen Teilen. Ich lasse die Goldlösung in der Regel zwei bis drei Tage im Dunkeln einwirken und reduziere dann mit Natronlauge-Jodkali, oder mit Ameisensäure ($33^1/_3$%), oder mit Müllerscher Flüssigkeit, oder mit Osmiumsäure, welche ich der Müllerschen Flüssigkeit zusetze."

Die Methylenblau-Färbemethode wandte Römer folgendermassen an:

Er stellte zwei Lösungen her, erstens eine bei Körpertemperatur gesättigte filtrierte Lösung von Methylenblau in physiologischer Kochsalzlösung, und zweitens eine physiologische Kochsalzlösung ohne Methylenblau. Beide Lösungen erhielt R. im Wasserbad auf Körperwärme. Dann tötete R. ein etwa drei Wochen altes Kätzchen, schälte so schnell wie möglich die Kiefer aus und warf sie lebenswarm in die warme physiologische Kochsalzlösung, zersägte dann so schnell als möglich die Kiefer in grössere Stücke unter beständiger reichlicher Berieselung mit der warmen Kochsalzlösung und mit gut erwärmten Instrumenten, und legte die dabei gewonnenen Stücke in die mit Methylenblau gesättigte Kochsalzlösung. Nach 36 Stunden brachte R. sie für 6 Stunden in die einfache Kochsalzlösung zurück und legte sie dann in eine Mischung von:

Ammoniummolybdat	1,0
Aqu. destill.	10,0
Hydrogen. hyperoxyd	1,0
Acid. hydrochlor. puriss. gtt. I.	

Diese Lösung wechselte R. nach 12 Stunden und liess die Stücke in der neuen Lösung weitere 12 Stunden. Dann wurden sie abgewaschen und übergeführt in eine Mischung von:

Formol	40,0
Aqu. destill.	60,0
Platinchlorür	5,0,

weil nach Ramon y Cajal diese Mischung nicht nur härtet, son-

dern der Zusatz des Platinsalzes auch die Unlöslichkeit der Verbindung des Molybdän mit dem Methylenblau erhöht. In dieser Mischung liess R. die Stücke 3 Tage, zersägte sie dann in passende kleinere (teils in Längs-, teils in Querschnitte) und bereitete zum Schleifen oder zum Schneiden vor. Letztere wurden 5 Tage lang in $33^1/_3$ $^0/_0$iger Ameisensäure entkalkt und dann in Celloidin eingebettet. Versuche nach dieser Richtung, welche ich anstellte, ergaben kein positives Resultat in Bezug auf spezifische Nervenfärbung. Die gefärbten Fasern unterscheiden sich in Nichts von den z. B. in Fig. 108 dargestellten Fasern, welche nach der ganz einfachen Fixierung in Flemmingscher Lösung und Färbung mit Safranin sich vorfanden und später von Hoehl als intracellulares Netz bezeichnet sind.

III. Die Versteinerungsmethode.

Es ist ein grosses Verdienst Weils, die ursprünglich von v. Koch empfohlene Methode, Weichteile durch Imprägnation mit hartem Kanadabalsam schleifbar zu machen, in die mikroskopische Technik der Zahnhistologie eingeführt zu haben. Weil äusserte sich bei der ersten seiner Mitteilungen folgendermassen:

„Nach der vorhergehenden Fixierung, Härtung und Entwässerung der Objekte legen wir sie dann in eine ziemlich grosse Quantität Chloroform, in welchem sie mindestens 24 Stunden zu verweilen haben. Aus diesem kommen sie in eine Lösung von Chloroform und Kanadabalsam. Hierbei verfuhr ich folgendermassen: Ich hatte mir zuvor schon eine grössere Quantität reinen Kanadabalsam im Wasserbade so lange gekocht, bis derselbe nach dem Erkalten beim Einstossen eines Instrumentes wie Glas sprang. Da die Temperatur nicht zu hoch genommen werden darf, weil der Balsam sich sonst dunkel färbt — das Wasser soll anfangs 60—70°, dann 80—90° haben —, so dauert dieses Verdampfen ziemlich lange, je nach der Quantität 10—20 Stunden.

Von diesem gehärteten Kanadabalsam gebe ich soviel in das Chloroform, dass eine dünne Lösung entsteht, in welcher ich die Zähne 24 Stunden stehen lasse. Nach dieser Zeit füge ich allmählich so viel Balsam hinzu, als sich darin löst. Wenn sich kein Balsam mehr auflöst, giesse ich so viel Flüssigkeit mit den Zähnen in eine Kochschale, dass die Präparate gut von der Lösung bedeckt sind. Dann setze ich die Schale wieder in das Wasserbad und lasse so lange bei zuerst 60—70°, dann 80—90° kochen,

bis, wie oben, die erkaltete Masse glashart wird, was abermals ziemlich lange währt. Ausdrücklich muss ich davor warnen, die Zähne mit der Lösung auf offenem Feuer und bei zu hoher Temperatur zu kochen, da sonst erstere brüchig würden, letztere ein unschönes Aussehen annähme.

Hat die Lösung nach dem Erkalten die gewünschte Konsistenz erreicht, so hole ich mir die Zähne mit einem Stichel vorsichtig heraus, entferne den überschüssigen Balsam, und dieselben sind nun zum Schleifen fertig."

Röse hat zwar diese Methode verurteilt, weil sie zu grosse Schrumpfungen und Kunstprodukte in den Geweben hervorbrächte. Er glaubte sogar der Anwendung verhältnismässig grosser Hitze, welche bei dieser Methode zur Geltung kommt, die Entstehung der Weilschen Schicht zuschreiben zu müssen. Wenn gleich dies, wie ich schon auf S. 109 erörterte, nicht der Fall ist, ist immerhin die neuerdings von Römer beschriebene Methode der Versteinerung als eine sicherere und augenblicklich beste für die Versteinerung anzusehen.

Römer beschreibt den Vorgang folgendermassen:

„Die Zähne werden unmittelbar nach der Extraktion, wenn man sie nicht sofort zersägen kann, in 10% Formalinlösung oder Müllersche Flüssigkeit verbracht und, je nachdem man Zeit hat, nach einigen Stunden oder wenigen Tagen in circa 1 mm dicke Brettchen zersägt, indem man mit einem scharfschneidenden Carborundscheibchen mit Hilfe der zahnärztlichen Bohrmaschine rings in den Schmelz horizontale oder vertikale Rinnen schneidet und dann mit einer breiten feinen Stahllaubsäge unter reichlicher Berieselung mit Wasser weiter sägt. Dabei wird der Zahn am besten im Schraubstock mittels Holz eingeklemmt. Ich benutze gewöhnlich für jedes Brettchen eine neue Säge, weil so der Zahn schnell durchsägt und die Pulpa möglichst geschont werden kann. Die ausgesägten Stücke werden in destilliertem Wasser abgespült und in die gewünschte Farblösung gebracht, aus welcher sie dann durch 30, 80 und 95%igen in absoluten Alkohol übergeführt werden.

Die Imprägnation mit Kanadabalsam zur Koch-Weilschen Einbettung nehme ich in folgender Weise vor: Den in Droguerien käuflichen Kanadabalsam, welcher meist in Xylol oder Terpentin gelöst ist, koche ich solange auf dem Wasserbade, bis das Lösungsmittel ausgetrieben und der Balsam beim Erkalten glashart geworden ist. Sodann bereite ich mir davon drei Lösungen in Chloro-

form, Nr. I ganz dünn, Nr. II mittel und Nr. III dick von der Konsistenz zähen Honigs. Nun werden die Stücke aus dem absoluten Alkohol erst in reines Chloroform, dann nochmals in reines Chloroform, drittens in Lösung Nr. I, viertens in Lösung Nr. II und fünftens in Lösung Nr. III übergeführt. In jeder Lösung bleiben sie ungefähr 6—8 Stunden und werden dann aus Lösung Nr. III direkt auf dem Boden eines beliebigen Blechgefässes (leere Sardinenbüchse) ausgebreitet und auf dem Deckel eines Thermostaten, der auf 50 bis 60° C. reguliert ist, getrocknet. Nach 8—10 Tagen sind die Stücke so hart geworden, dass sie bei Druck auf den Boden des Blechgefässes abspringen und nun geschliffen werden können. Ich schleife dann zunächst beide Seiten auf grobem Oelstein so weit ab, bis ich deutlich erkennen kann, welche Seite die schönste und zur Untersuchung geeignetste sein dürfte. Diese wird dann aufs sorgfältigste auf feinem Oelstein so glatt wie möglich geschliffen. Da man hierbei sehr leicht seine Fingerkuppen in Gefahr bringt, ist es bei dünnen Stücken zweckmässig, den Schliff mit einem weichen Kork oder auch mit Watte auf den Schleifstein festzudrücken. Dann folgt die wichtigste Prozedur, welche Uebung und Sorgfalt erheischt, nämlich das Aufkleben des Schliffes auf den Objektträger. Man nimmt 1 bis 2 Tropfen gewöhnlichen Kanadabalsam auf den Objektträger, zieht letzteren damit mehrmals über eine Spiritusflamme hin und her, bis der Balsam, wenn erkaltet, eben noch mit dem Fingernagel eindrückbar ist; dann erweicht man ihn nochmals durch vorsichtiges Erwärmen, wobei man ihn ja nicht zu heiss machen darf und drückt die glattgeschliffene Seite des Präparates, nachdem sie von Oel und Schleifpartikelchen mit einem weichen Leinwandlappen gereinigt ist, auf dem Balsam gleichmässig fest. Man achte darauf, dass sich keine Luftblasen zwischen Glas und Präparat befinden! Dann schleift man, den Objektträger als Handhabe benutzend, den Schliff auf der anderen Seite so lange, bis er die gewünschte Durchsichtigkeit erlangt hat, indem man zuletzt alle Augenblicke mit Hilfe des Mikroskops kontrolliert, dass man nicht zu viel wegschleift. Denn es passiert gar zu leicht, dass plötzlich die ganze Pulpa verschwindet und dann die aufgewendete Mühe vergeblich war. Ich habe dieses Verfahren in der letzten Zeit dadurch vervollkommnet, dass ich, wenn der Schliff eine gewisse Feinheit erlangt hat, die Bohrmaschine zum Weiterschleifen benutze und speziell diejenigen Stellen des Präparates, welche ich besonders fein wünsche, mit einem feinen und kleinen Oelstein-Räd-

chen fertig schleife. Dann reinigt man den Schliff mit Xylol auf dem Objektträger, ohne ihn von der Unterlage abzulösen und versieht ihn mit Kanadabalsam zur definitiven Einbettung."

Meines Erachtens ist die Versteinerungsmethode eine sehr wertvolle Bereicherung der mikroskopischen Technik in der Zahnhistologie und wird auch z. B. bei der Anfertigung von Präparaten über den Durchbruch der Zähne von grossem Vorteil sein.

IV. Die Isolation.

Endlich ist die Methode der Isolierung der Elementarteile noch einer kurzen Besprechung würdig. Es handelt sich hier wieder darum, ob man die harten oder weichen Zahnsubstanzen zerlegen will. Für das Zahnbein ist zur Isolation der Zahnscheiden schon seit langem konzentrierte Salpetersäure mit etwas Glycerin versetzt in Gebrauch. Der Zerfall des Gewebes geht bei nicht zu dicken Stücken in circa 24 Stunden vor sich. Man kann dadurch besonders die Zahnscheiden und die sogenannten Interglobularräume einzeln darstellen. Zur Isolation der Schmelzprismen wird gewöhnlich verdünnte Schwefel- oder Salzsäure genommen und vor dem vollständigen Zerfall durch mechanischen Druck die Isolierung bewirkt. Letzterer kann bei gleichzeitigem Gebrauch der Präpariernadel, insbesondere bei der Isolation embryonaler Elemente von grossem Vorteil sein. Die Ameloblasten und Odontoblasten kann man sehr gut in Drittelalkohol isolieren, ebenso auch aus Schnitten, welche längere Zeit in Müllerscher Flüssigkeit gelegen haben.

Die Einbettung der Isolationsprodukte erfolgt am besten in Glycerin oder dünnflüssiger Glyceringelatine. Lässt man die Isolationsprodukte ein wenig auf dem Objektträger antrocknen, so kann man sie ähnlich wie bei der Bakterienfärbung auswaschen und färben und in Glycerin einschliessen.

Möge der vorliegende Leitfaden als ein Scherflein zum Ausbau der Zahnheilkunde als Wissenschaft angesehen und zu weiteren Forschungen auf diesem Gebiete Veranlassung geben. Noch manches bleibt zu thun übrig.

Litteratur-Verzeichnis.

A.

Abbott, F. Dentin und Schmelz von Milchzähnen. (Heitzmann, mikroskopische Morphologie) Wien 1883. — Odontoblastes in their relation to developing dentine. Dental Cosmos S. 773 und Transactions of the Americ. Dent. Assoc. Vol. XXVIII. S. 112. — Growth of enamel. Dental Cosmos 1889 S. 750.

Andrews, R. The origin of the dental fibril. New-York. Med. Record Vol. XXXII. S. 349 und Dental Cosmos Vol. XXX. S. 221 und Transactions of the Internat. Med. Congress IX. Washington P. V. S. 503.

B.

Baume, R. Bemerkungen über die Entwicklung und den Bau des Säugetierzahnes. Deutsche Vierteljahrsschrift f. Zahnheilkunde Bd. XV S. 125 und 265. — Odontologische Forschungen. 2 T. Leipzig. — Lehrbuch d. Zahnheilk. Leipzig 1890.

Bennett. Transparenz des Zahnbeins. Korrespondenzblatt für Zahnärzte 1895.

v. Bibra. Chemische Untersuchungen über die Knochen und Zähne. Schweinfurt 1844.

Biró. Transparenz des Zahnbeins. Korrespondenzblatt für Zahnärzte 1895.

Black. American System of Dentistry I 1886. — A study of the histological characters of the periosteum and peridental membrane. Chicago 1887.

Bödecker, C. F. W. Dentin, Cement und Schmelz, in Heitzmann, mikrosk. Morphologie, Wien. 1883. — Die Anatomie und Pathologie der Zähne. Wien und Leipzig 1896.

Boll. Untersuchungen über die Zahnpulpa. Archiv für mikr. Anat. 1868.

v. Brunn, A. Die Bildung des Zahnbeins. Göttinger Nachr. S. 626. 1875.

— Ueber die Ausdehnung des Schmelzorganes und seine Bedeutung für die Zahnbildung. Archiv f. mikr. Anat. Bd. XXIV S. 367 und Anat. Anzeig. 1886, S. 259. — Ueber Membrana praeformativa und Cuticula dentis. Anat. Anzeig. S. 506. 1888.

C.

Czermak. Beiträge zur mikr. Anatomie der menschlichen Zähne. Zeitschr. für wissensch. Zool. 1850.

E.

v. Ebner. Ueber den feineren Bau der Knochensubstanz. Sitzungsbericht d. k. Akad. d. W. in Wien LXXII. Bd. (Leimgebende Fibrillen des Zahnbeins.) — Strittige Fragen über den Bau des Zahnschmelzes. Sitzungsb. d. k. Akad. d. W. in Wien Bd. XCIX. S. 57 — Histologie der Zähne, in Scheff, Handb. d. Zahnheilk. I. Bd. Wien 1891.

Erdl. Abhandlungen der Kgl. bayer. Akad. d. Wissenschaften, Math. natw. Klasse München 1841.

F.

Fränkel, de penitiore dentium humanorum structura observ. Diss. inaug. Vratisl., 1835.

Frey. Handbuch der Gewebelehre, 1874.

G.

Gebhardt. Ueber den funktionellen Bau einiger Zähne. Archiv für Entwicklungsmechanik 1900.

Goodsir, on the origin and development of the pulp and sacs of the human teeth. Edinb. med. and surg. Journ. 1838.

H.

Hannover. Die Entwicklung und der Bau des Säugetierzahnes. Nova acta Acad. Caes. Leop. Natur. Curios. Breslau und Bonn 1856.

Hassall, Microscopic anatomy of the human body. Lond. 1849.

Heitzmann, C. und **Bödecker, C. F. W.** Contributions to the History of Development of the teeth. The Independent Practitionner. Vol. VIII. und IX. (1887 und 1888.)

Henle. Allgemeine Anatomie 1841.

Hertwig. Entwicklungsgeschichte. Jena. 1896.

Hertz, H. Untersuchungen über den feineren Bau und die Entwicklung der Zähne. Virchows Arch. 1866. Bd. 37 — Id. Ein Fall von geheilter Zahnfraktur mit nachfolgender Schmelzbildung. Virchows Arch. 1866. 38. Bd.

Hoehl, E. Beitrag zur Histologie der Pulpa und des Dentins im Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1896.

Holländer, L. Die Anatomie der Zähne nach Ch. Tomes, Manual of dental anatomy. Berlin, Hirschwald. 1887.

Hoppe-Seyler. Virchows Arch. Bd. 5 und Bd. 24.

Hunter, J. The natural history of the teeth. London 1778. Deutsch, Leipzig 1780.

Huxley, in Quarterly Journ. of Microscop. Sc. 1845, 1855, 1857.

K.

Kölliker, A. Entwicklungsgeschichte des Menschen etc. II. Auflage. Leipzig, Engelmann. — Mikroskopische Anatomie 1852. — Ueber verschiedene Typen in der mikrosk. Structur des Skeletts der Knochenfische. Würzburger Verhdlg. 1859 IX. — Die Entwicklung des Zahnsäckchens der Wiederkäuer. Zeitschr. f. wissensch. Zool. 1863. — Gewebelehre 4. Aufl.

Kollmann J. Zahnbein, Schmelz und Cement. Zeitschrift f. wissensch. Zool. Bd. XXIII. S. 354. (Wellenbiegungen durch Druck etc.) — Entwicklung der Milch- und Ersatzzähne beim Menschen. Zeitschr. f. wissensch. Zool. Bd. XX. S. 145. — Ueber das Schmelzoberhäutchen und die Membrana praeformativa. Münch. Sitzungsber. d. k. Akad. S. 162. 1869. — Interglobularräume etc. Ibid. S. 376.

Kruckenberg. Müllers Archiv 1846.

L.

Leeuvenhoek. Philos. Transact. 1678. — Opera omnia. Lugd. Batav. 1722.

Legros, Ch., et Magitot, E. Morphologie du follicule dentaire chez les vertébrés

Journ. de l'anatom. et de la phys. S. 248. 1897. — Contribution à l'étude des dents III. Developement de l'organe dentaire chez les mammiféres. Journ. de l'anat. et de la physiol. p. 60. 1881.

Lent. Beiträge zur Entwicklung des Schmelzes und Zahnbeins. Zeitschr. für wissensch. Zool. 1854 VI.

Lessing. Verhandlungen der naturwissensch. Gesellschaft in Hamburg 1845.

Linderer. Handb. der Zahnheilk. Berlin 1837.

M.

Magitot et Legros. Origine et formation du follicule dentaire. Journ. de l'anatomie et de la physiol. S. 449.

Marcusen. Ueber die Entwicklung der Zähne der Säugetiere. Bullet de la classe phys.-math. de l'Acad. impér. de St. Pétersbourg. 1849.

Morgenstern, M. Untersuchungen über den Ursprung der bleibenden Zähne. Leipzig, 1885 und Deutsche Monatsschr. f. Zahnheilk. 1884 und 1885. — Entwicklungsgeschichte der Zähne. in Scheff, Handb. d. Zahnheilk. 1. Bd. S. 263. — Ueber die Innervation des Zahnbeines. Archiv für Anatomie und Physiologie 1896.

Müller, Joh. Archiv für Anatomie und Physiologie. 1836.

Mummery, J. H. Some points in the structure and development of dentine, in Philos. Transact. of the royal Soc. London Vol. 182. B. S. 527.

N.

Nasmyth. Med. chirurg. Transact, vol. 22. 1839.

Neumann. Beitrag zur Kenntnis des normalen Zahn- und Knochengewebes. Leipzig 1863.

O.

Owen. Odontography. London, 1840—1845.

P.

Partsch. Die von Weil beschriebene Schicht unter den Odontoblasten. Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde. 1892.

Preiswerk. Beiträge zur Kenntnis der Schmelzstructur bei Säugetieren. R. 1895.

R.

Raschkow. Meletemata circa mammalium dentium evolutionem. Diss. inaug. Vratisl. 1835.

Retzius. Müllers Archiv 1835.

Robin et Magitot. Journ. de la physiol. Paris 1860. T. III et IV. 1861.

Römer, O. Zahnhistologische Studie, Strassburg 1899.

Röse. Zur Histologie der Zahnpulpa. Deutsche Monatsschr. f. Zahnheilk. 1892. X. Jahrg. 2. Heft. — Ueber die Entwicklung der Zähne des Menschen, im Archiv f. mikr. Anat. Bd. XXXVIII. (1891.) — Ueber die Entwicklung der Edentaten, im Anat. Anz. VII. S. 496. — Ueber die Zahnentwicklung der Beuteltiere, Ibid. S. 639. — Ueber die v. Koch sche Versteinerungsmethode, Ibid. S. 512. — Ueber die Nicht-Existenz der sogenannten Weilschen Basalschicht der Odontoblasten. Anatom. Anz. VIII. Jahrgang (1893) No. 8 und 9. — Ueber die Zahnentwicklung des Menschen. Schweizerische Vierteljahrsschrift für Zahnheilk. Bd. II. 1892.

S.

Schaffer, J. Verhalten fossiler Zähne im polarisierten Lichte. Sitzungsbericht d. k. Akademie in Wien 1890.

Schwann. Mikrosk. Unters. etc. Berlin. 1839.

Spee, Graf. Ueber die ersten Vorgänge der Ablagerung des Zahnschmelzes. Anatom. Anzeig. S. 89. 1887.

Sudduth, W. Dental embryology and histology in: The American System of dentistry. Edited by Wilbur F. Litch. Edinburgh. Vol. 1 p. 519. 1887.

T.

Tomes, Ch. Die Anatomie der Zähne des Menschen und der Wirbeltiere übersetzt v. Holländer. Berlin 1877.

Tomes, J., A course of lectures on dental physiology and surgery. London 1848. A system of dentistry, übers. von zur Nedden. Leipzig 1861. London Phil. Transact. 1849. (Beuteltiere) ibid. 1850. (Nager.) On the presence of fibrils of soft tissue in the dentinal tubes. Lond. Philos. Transact. 1846. P. II.

W.

Waldeyer, W. Bau und Entwicklung der Zähne in: Handbuch der Lehre von den Geweben. Herausgegeben von Stricker, Leipzig 1871. S. 332. — Unters. über die Entwicklung der Zähne. I. Abt. Königsberger med. Jahrbücher. IV. Bd. 1864. II. Abt. Zeitschr. f. rat. Med. III. R. 24. Bd. 1865. — De dentium evolutione, Wratisl. 1864, Unters. über die erste Entwicklung der Zähne. 1. Abt. Danzig 1864. — Arbeit 2. Abt. in Zeitschr. f. rat. Med. Bd. 21. S. 169.

Wallisch. Durchbruch der Zähne. Oesterreich-Ungarische Vierteljahrsschr. für Zahnheilk. 1900.

Walkhoff, O. Ein Beitrag zur Lehre von den Contourlinien und zur Physiologie des Zahnbeins. Deutsche Monatsschr. f. Zahnheilk. III. S. 575. 1887. — Die normale Entwicklung und die Physiologie des Zahnbeins in den verschiedenen Altersperioden des Menschen. Deutsche Monatsschrift f. Zahnheilk. 1887 V. S. 246 und 304. — Mikroskopische Untersuchungen über pathologische Veränderungen des Dentins. Deutsche Monatsschr. für Zahnheilk. 1885. III. Jahrgang, 1. Heft. — Neue Untersuchungen über die Pathohistologie des Zahnbeins. Deutsche Monatsschr. f. Zahnheilk. 1892. I. Heft. XI. Heft. — Ueber die Bedeutung des vitalen Prinzips im Zahnbein. XI. Jahrgang, 9. Heft. — Mikrophotographischer Atlas der normalen Histologie menschlicher Zähne, Hagen i. W. 1894. — Der menschliche Unterkiefer im Lichte der Entwicklungsmechanik. Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1900 und 1901. — Das sensible Dentin und seine Behandlung. Berlin 1899.

Wedl, C. Ueber Gefässknäuel im Zahnperiost. Virchows Archiv. Bd. 85. — Pathologie der Zähne. 1870.

Weil, L. Zur Histologie der Zahnpulpa. Deutsche Monatsschr. f. Zahnheilk. 1887, 1888, 1892.

Welcker. Bemerkungen zur Mikrographie. Zeitschr. f. rat. Med. N. Folge Bd. 8.

Wenzel. Untersuchungen über das Schmelzorgan und den Schmelz etc. Archiv der Heilk. 1868 p. 97. — Untersuchungen über die Entwicklung der Zahnsubstanzen. Leipzig 1871.

Autoren-Register.

Sach-Register.

K.

M.

N.

O.

P.

Q.

R.

S.

T.

U.

V.

W.

Z.

Erklärung der Tafeln.

Die Mikrophotographien der beifolgenden Tafeln wurden unter Berücksichtigung des **Strukturbildes** mit **Zeiss** Aprochomaten von 70 mm bis 3 mm Brennweite und numerischer Apertur bis 1,40 aufgenommen. Bei gefärbten Präparaten wurden farbenempfindliche Platten angewendet.

Tafel I.

Fig. 2. Frontalschnitt durch den Oberkiefer eines menschlichen Embryos von 4 cm Länge, *e* Zahnleiste, *b* Plattenepithel. Vergröss. 40.

Fig. 3. Frontalschnitt durch den Oberkiefer eines drei Monate alten Embryos, *s* Schmelzorgan, *z* Zahnbeinkeim, *e* inneres Epithel. Vergröss. 60.

Fig. 4. Querschnitt durch den Unterkiefer eines fünfmonatlichen Embryos, *s* Schmelzorgan, *z* Zahnbeinkeim, *e* Epitelialstrang (Zahnleiste), *b* Verbindungsbrücke, e^1 Ersatzleiste. Vergröss. 30.

Fig. 5. Struktur der Ersatzleiste bei *e*, der Schmelzpulpa bei *g*, (Schmelzzellen) des Stratum intermedium und des äusseren abgeplatteten Cylinderepithels. Vergröss. 200.

Fig. 7. Zahnkeim mit beginnender Zahnbeinbildung, *s* Schmelzpulpa. *d* Dentin, *a* Ameloblasten, *o* Odontoblasten, *z* Zahnbeinkeim, *e* Epithelialscheide. (Umbeugungsschlinge.) Vergröss. 20.

Fig. 8. Normaler Schmelz. Vergröss. 60.

Fig. 9. Normaler Schmelz mit Querstreifung. Vergröss. 60.

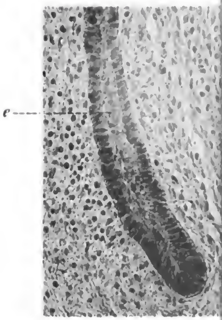
Fig. 16. Querstreifung des Schmelzes. Vergröss. 150.



2.



8.

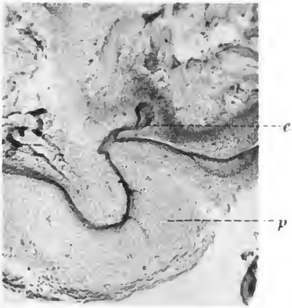


5.



16.

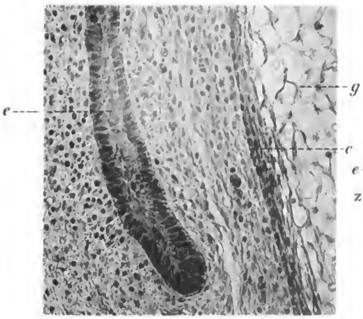
Verlag von Arthur Felix, Leipzig   Julius Klinkhardt, Leipzig.



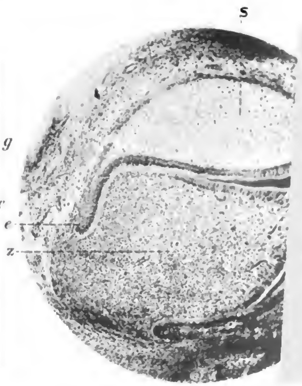
2.



3.



5.



7.

Verlag von Arthur Felix, Leipzig.

Tafel II.

Fig. 13. Querschliff von Schmelzprismen, die corticale (hellere) und centrale (dunklere) Schicht zeigend. Scharfe Einstellung der Oberfläche. Vergröss. 2400.

Fig. 14. Querschliff von Schmelzprismen in der Region *s* scharfe Einstellung der Schmelzprismen, bei *u* unscharfe Einstellung derselben. Vergröss. 800.

Fig. 15. Diatomee in scharfer Einstellung *s* und unscharfer Einstellung *u*. Vergröss. 500.

Fig. 17. Querstreifung der Schmelzprismen. Vergröss. 500.

Fig. 18. Längsschliff vom Schneidezahn einer Ratte, s^1 äussere Randzone des Schmelzes ohne Querstreifung der Schmelzprismen, *b* die viel stärkere innere Schicht des Schmelzes mit ausgeprägter Querstreifung. Vergröss. 600.

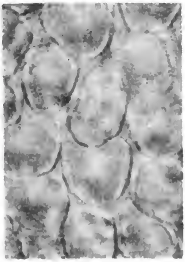
Fig. 20. Mit Salzsäure geätzte und durch mechanischen Druck isolierte Schmelzprismen. Bei *s* scharfe Einstellung derselben, bei *o* der focus etwas gehoben, bei *w* etwas gesenkt. Vergröss. 1200.

Fig. 21. Höcker eines Bicuspis, *r* Streifen des Retzius, *s* Schregersche Faserstreifen. Vergröss. 25.

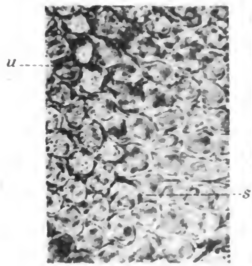
Fig. 22. Schmelz *s* in der Nähe des Zahnhalses mit zahlreichen Streifen des Retzius *r*. zackige Grenzlinie gegen das Dentin *d*. Vergröss. 240.

Fig. 24. Streifen des Retzius. Vergröss. 350.

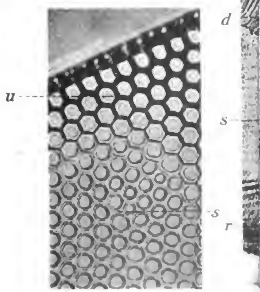
Fig. 25. Streifen des Retzius. Der centrale Körper scheint stark gekörnt. (Siehe Seite 28.) Vergröss. 1000.



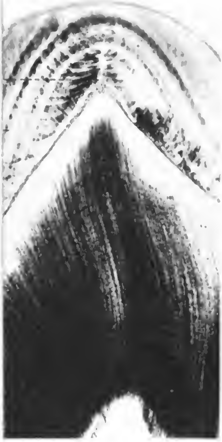
13.



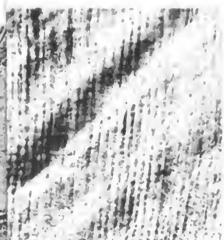
14.



15.



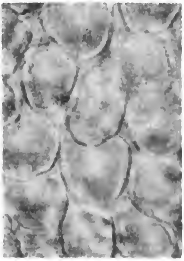
21.



24.

Verlag von Arthur Felix, Leipzig. Julius Klinkhardt, Leipzig

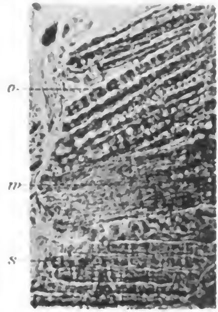
Walkhoff, Histologie der Zähne.



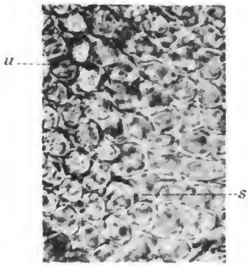
13.



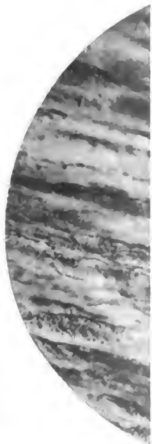
18.

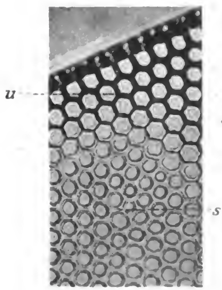


20.

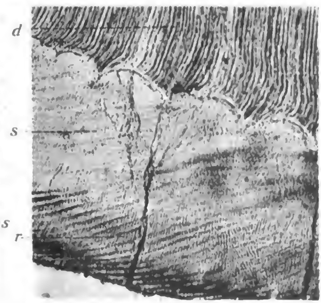


14.





15.



22.

Verlag von Arthur Felix, Leipzig.

Tafel III.

Fig. 26. Interglobularräume im Zahnbein, links normaler Schmelz, bei *e* jedoch mangelhafte Ausbildung der gesamten Schmelzprismen. Vergröss. 60.

Fig. 28. Schregersche Faserstreifen *s*, verbunden mit Streifen des Retzius *r*. Vergröss. 120.

Fig. 29. Die Spitze des Dentinhöckers *d* mit in den Schmelz hineindringenden kolbenförmigen Fortsätzen, darüber Schregersche Faserstreifen, hervorgerufen durch Knickung der Schmelzprismen. Vergröss. 120.

Fig. 30. Zonien und Diazonien in der Spitze des Eckzahnes einer Katze. Vergröss. 40.

Fig. 31. Zonien und Diazonien aus demselben Präparat. Vergröss. 600.

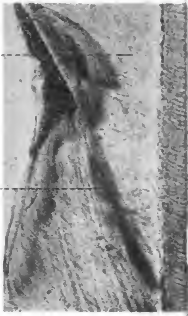
Fig. 38. Ameloblasten unmittelbar vor beginnender Schmelzbildung. Vergröss. 800.

Fig. 39. Beginnende Zahnbein- und Schmelzbildung vom Hunde, *o* Odontoblasten, *d* neugebildetes Dentin, *s* junges Schmelzgewebe, *a* Ameloblasten. Vergröss. 500.

Fig. 40. Schmelzoberhäutchen. Vergröss. 200.

Fig. 41. Zahnbein im Querschnitt, (frisches Präparat) bei *d* scharfe Einstellung. Vergröss. 250.

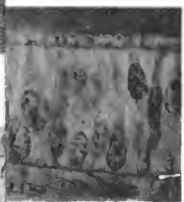
Fig. 43. Eine Zone transparenten Dentins *t*, zwischen normalen Zahnbein *d*. Vergröss. 200.



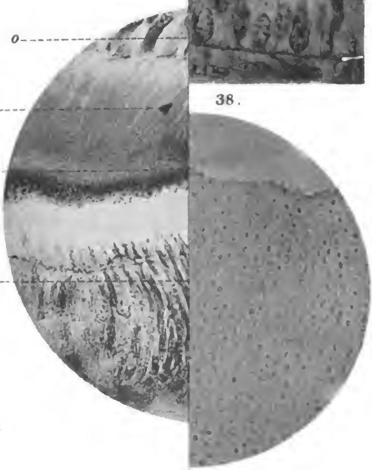
26.



31.

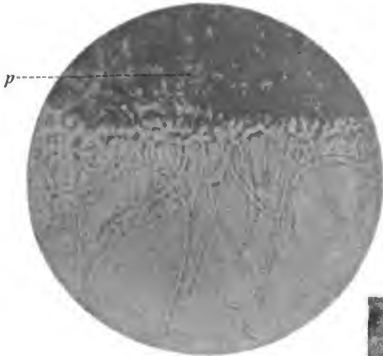


38.

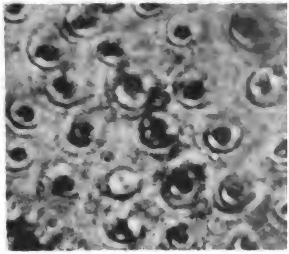


1.

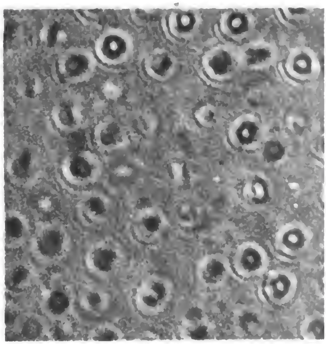
Verlag von Arthur Felix Leipzig Julius Klinkhardt Leipzig.



42.

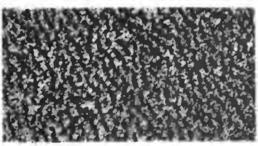


44

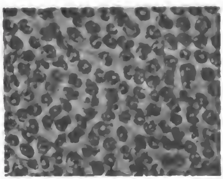




46.



55.



57.



Verlag von Arthur Felix, Leipzig.

Tafel V.

Fig. 62. Normale Anlagerung der Kalksalze in Kugelform an der Grenze der dentinogenen Substanz und des fertigen Zahnbeins. Vergröss. 250.

Fig. 63. Contourlinie im Zahnbein, die Interglobularsubstanz eingetrocknet. Vergröss. 120.

Fig. 64. Contourlinie im Zahnbein, die Interglobularsubstanz noch frisch erhalten. Vergröss. 250.

Fig. 69. Schwach angedeutete Contourlinie im Zahnbein. Vergröss. 60.

Fig. 71. Querstreifung des Zahnbeins. Vergröss. 300.

Fig. 72. Zahnbein-Cementgrenze, *c* Cement, *d* Dentin, *t* Tomessche Körnerschicht. Vergröss. 100.

Fig. 74. Dentinschmelzgrenze beim Hirsche. Eintreten der Dentinkanälchen aus dem Zahnbein *d* in den Schmelz *s*, meist in schräger Richtung zu den Prismen. Vergröss. 400.

Fig. 75. Dentinschmelzgrenze beim Menschen. Abbrechen der starken Dentinkanälchen an der gezackten Zahnbeinschmelzgrenze. Vergröss. 250.

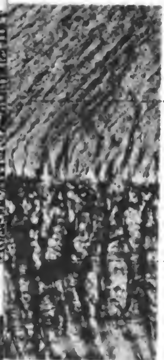
Fig. 77. Eintreten zahlreicher kolbenförmiger Fortsätze *f* vom Dentinhöcker *d* in den Schmelz *s*, *g* Globularmassen. Vergröss. 120.

Fig. 78. Kolbenförmige Fortsätze in schräger Richtung die Schmelzprismen durchkreuzend, die umgebende Grundsubstanz teilweise eingetrocknet. Vergr. 1200.

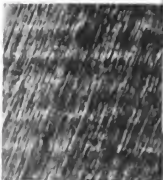
Fig. 80. Dentinschmelzgrenze vom Känguruh. Eintreten der Dentinkanälchen in den Schmelz *s* aus dem Zahnbein *d*. Vergröss. 400.



62.



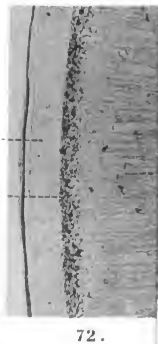
74



71.

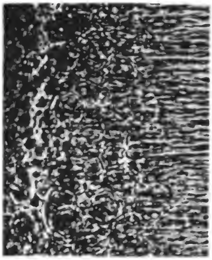


80.

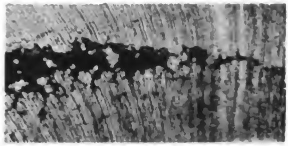


72.

Verlag von Arthur Felix, Leipz · Julius Klinkhardt, Leipzig

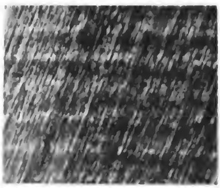


62.

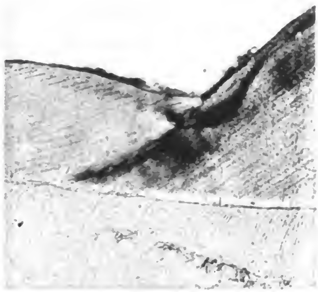


63.

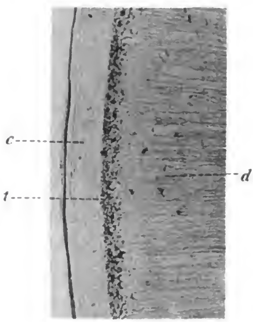




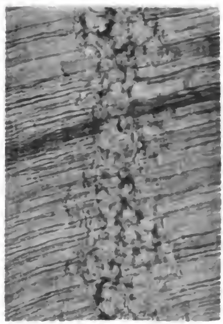
71.



69.



72.



64.



Verlag von Arthur Felix, Leipzig

Tafel VI.

Fig. 81. Dentinschmelzgrenze vom Känguruh. Eintreten der Dentinkanälchen in den Schmelz *s* aus dem Zahnbein *z*. Im Schmelz sind einzelne Kanälchen rechtwinklig umgebogen. Vergröss. 400.

Fig. 82. Der umgebogene Rand eines Schmelzorganes im Längsschnitt. (Umbeugungsschlinge.) Vergröss. 800.

Fig. 83. Beginnende Bildung des Dentins *d* durch die einen Zellleib bildenden Odontoblasten *o*, *s* Schmelzzellen. Vergröss. 1400.

Fig. 85. Zahnbeinpulpagrenze, *z* Zahnbein, *d* breite dentinogene Substanz, *o* Odontoblasten mit grösserem Zellleib, *p* Pulpa, j ü n g e r e Zahnbeinbildung. Vergröss. 200. (Präparat von der Wurzel eines Schneidezahnes eines 18jährigen Menschen.)

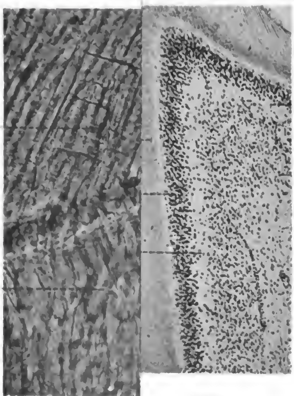
Fig. 86. Präparat von demselben Zahne wie Fig. 85, jedoch das Pulpahorn zeigend, *d* schmale dentinogene Substanz, *o* Odontoblasten beinahe ohne protoplasmatischen Zellleib, *w* W e i l sche Schicht, *p* Pulpa. Vergröss. 200.

Fig. 87. Querschnitt von der Wurzel eines Kalbszahnes, Einschluss einzelner Odontoblasten *o* in das Dentin, *h* Pulpagewebe, *z* Odontoblastenschicht. Vergröss. 180.

Fig. 88. Strangförmig eingeschlossene Odontoblasten im Querschnitt eines Kalbszahnes, hauptsächlich an den Spitzen der Bogen, welche die Odontoblastenschicht *o* bildet, ausgesprengt. Vergröss. 450.

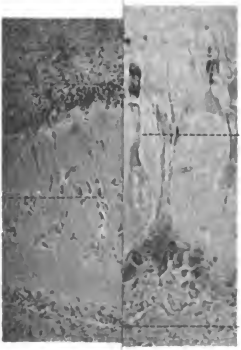
Fig. 89. Zahnkeim von einem 5monatlichen Embryo, *p* Pulpa, *o* Odontoblasten, *d* Zahnbein, *s* beginnende Schmelzbildung, o^1 ein ausgesprengter Odontoblast mit langem Fortsatz im Schmelzgewebe. Vergröss. 500.

Fig. 90. Kalbszahn, *p* Pulpa, Odontoblasten im Zahnbein eingeschlossen, bei *o* mit langen Fortsätzen, bei *c* die Zelle selbst lang ausgezogen. Vergröss. 450.



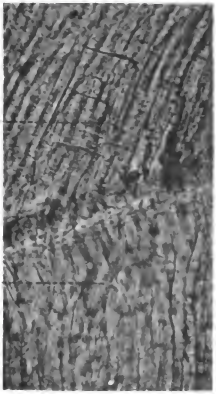
86.

81.



87.

Verlag von Arthur Felix, Le… Julius Klinkhardt, Leipzig.

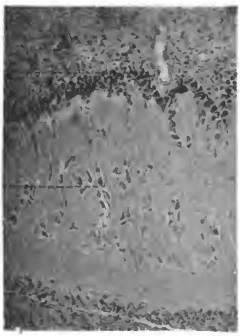


81.

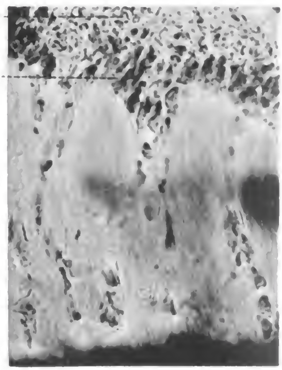


82.





87.

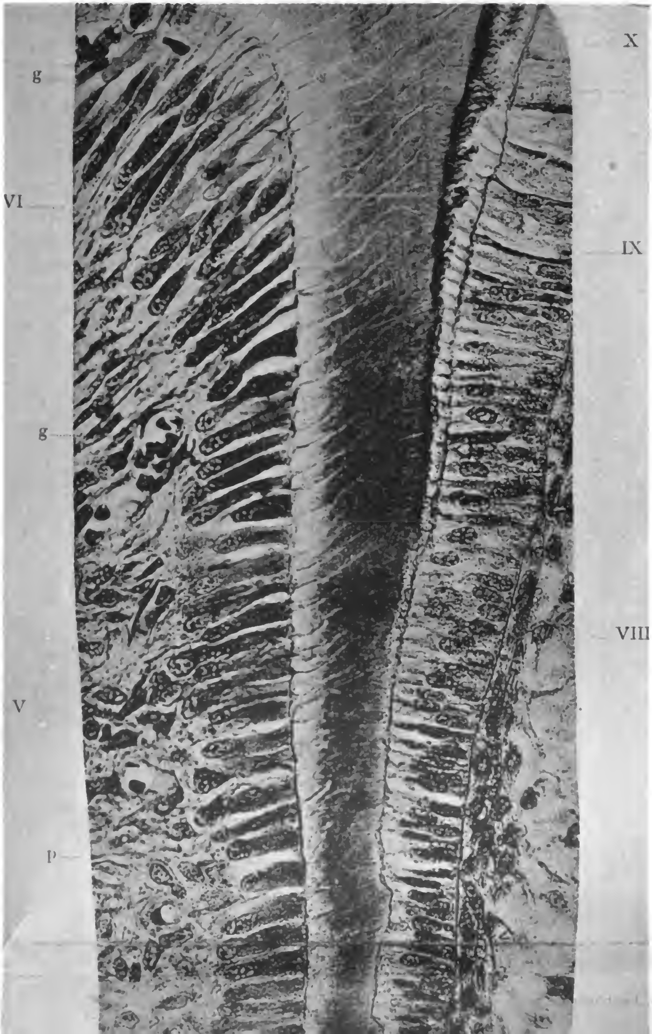


88.

Verlag von Arthur Felix, Leipzig.

Tafel VII.

Fig. 84. Längsschnitt durch den Milchschneidezahn einer neugeborenen Katze. *p* Pulpa, *d* Dentin, *s* Schmelz, d^1 unverkalktes Dentin. *g* Gefässe unterhalb der Odontoblasten. Die Tafel zeigt in Bezug auf die Odontoblasten und Ameloblasten im wesentlichen 10 verschiedene Formationen der Gewebe: I) Embryonales Pulpagewebe mit Rundzellen. II) Beginnende Umbildung der Rundzellen zu Odontoblasten. III) Ausbildung der Odontoblasten zur Walzenform durch Bildung des Zellleibes. zugleich geringe Intercellularsubstanz — und beginnende Dentinbildung. IV) Wachstum des Zellleibes der Odontoblasten und Vermehrung der Intercellularsubstanz. V) Starke Verlängerung des Zellleibes der Odontoblasten. VI) Umformung des walzenförmigen Odontoblasten zu rübenförmigen. Stärkste Entwicklung der Intercellularsubstanz. Entfernung des Zellleibes der Odontoblasten von der Zahnbeinsubstanz. VII) Beginnende Verlängerung des Zellleibes der Schmelzzellen. VIII) Beginnende Schmelzbildung. IX) Grösste Ausbildung der Schmelzzellen. X) Stärkere Petrifikation der ungebildeten Prismen. Vergröss. 800. Die 6 Aufnahmen wurden unter gleichbleibenden Verhältnissen bei starker Abblendung mit Zeiss Aprochomat Oelimmersion num. Apert. 1.40 und Projektionsocular IV gemacht und genau zu einem Serienbilde an einander copiert.


g
VI
g
V
p
X
IX
VIII

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Tafel VIII.

Fig. 91. Querschnitt eines Backenzahnes von einem Kaninchen. Der Schnitt zeigt die in das Zahnbein eingeschlossenen Odontoblastenstränge, welche die Kalkmäntel formieren. Vergröss. 600.

Fig. 92. Kalkmantelbildungen seitens der Pulpa im Backenzahne eines alten Kaninchens. Vergröss. 560.

Fig. 93. Längsschliff eines Backenzahnes vom Hasen durch die Reihe von Kalkmänteln; letztere sind nur teilweise genau im Längsschliffe getroffen. Vergröss. 200.

Fig. 95. Dentinpulpagrenze, *z* Zahnbein, *d* dentinogene Substanz, *w* Weilsche Schicht. Vergröss. 200. (Versteinerungsmethode.)

Fig. 96. Querschnitt einer älteren Pulpa, *o* Odontoblastenschicht, darunter die Weilsche Schicht, *n* Nervenstämme, *a* Arterie, *v* Vene. Vergröss. 80.

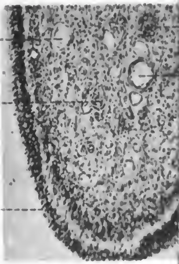
Fig. 98. Zahnbeinpulpagrenze. *z* Zahnbein, *d* dentinogene Substanz, *w* Weilsche Schicht. Vergröss. 400.

Fig. 108. Odontoblasten, zwischen denen Bindegewebsfibrillen marklose Nervenfasern vortäuschen. Näheres siehe Text S. 135. Vergröss. 1950.

Fig. 109. Zahlreiche Nerven in der Pulpa, der Odontoblastenschicht *c* parallel laufend. Vergröss. 250.

Fig. 110. Nervenstämme der Pulpa und ihre Verzweigungen in dem Pulpahorne eines Molaren. Vergröss. 250.

Fig. 111. Eintreten der Capillaren zwischen die Odontoblasten bei einem jungen Hunde. Vergröss. 200.



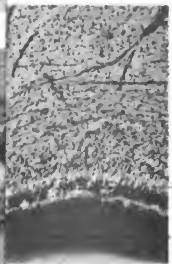
96.



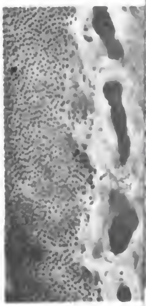
95.



91.



109.

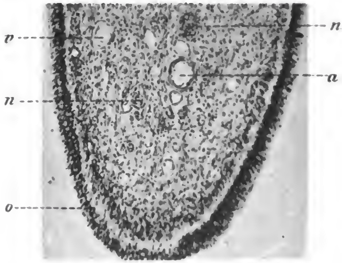


92.



111.

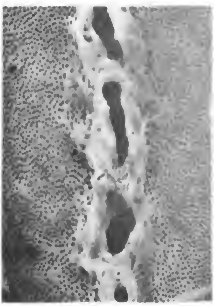
Verlag von Arthur Felix, Leipzig. Julius Klinkhardt, Leipzig.



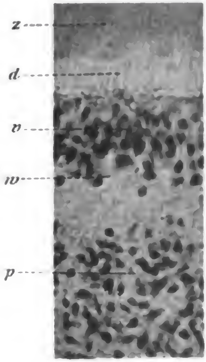
96.



91.



92.



98.



108.

Verlag von Arthur Felix, Leipzig.

Tafel IX.

Fig. 112. Querschnitt einer älteren Pulpa. *n* starke Nervenstämme. *v* eine Vene. Vergröss. 300.

Fig. 113. Zahnhals, *z* Zahnbein, *s* Schmelz, das Cement *c* über den Schmelz ragend. Vergröss. 450.

Fig. 114. Wurzellängsschliff. *c* Cement, *k* Tomessche Körnerschicht, *d* Dentin. Vergröss. 350.

Fig. 115. *c* normales Cement, *h* hypertrophierendes Cement, *d* Dentin. Vergröss. 180.

Fig. 116. *z* Zahnbein, *c* Cement, *i* eingeschlossene Partien der Wurzelhaut. Frischer Schnitt. Vergröss. 250.

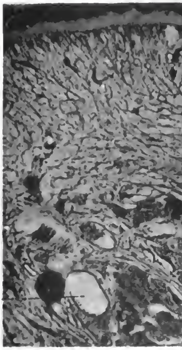
Fig. 117. *d* Dentin, *c* normales Cement, darüber hypertrophierendes Cement in lamellöser Anordnung und eingetrocknete organische Substanz. Vergröss. 250.

Fig. 118. Wurzelhaut am Zahnhalse, *d* Dentin. Vergröss. 200.

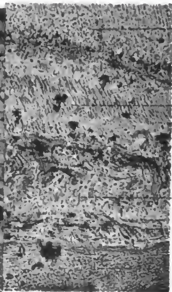
Fig. 119. Wurzelhaut zwischen Zahnbein *z* und Knochenbälkchen *k*. Vergröss. 150.

Fig. 120. Wurzelhaut *w* in der Nähe des Zahnbeins *z*, Epithelnester *e* zeigend. Vergröss. 150.

Fig. 121. Zahnkeim, *o* Odontoblastenschicht, *d* Dentin mit den in ihnen enthaltenen Fortsätzen der Odontoblasten (Tomessche Fasern), *a* Ameloblasten, *g* Schmelzpulpa. Vergröss. 1000.



112.



116.



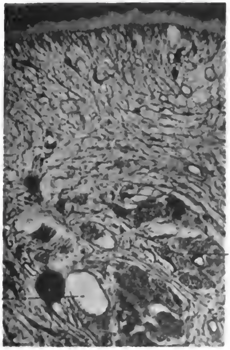
117



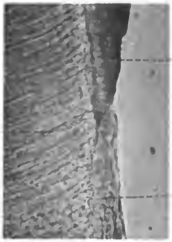
121.

Verlag von Arthur Felix, Leipzig

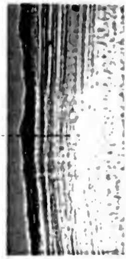
Julius Klinkhardt, Leipzig.



112.



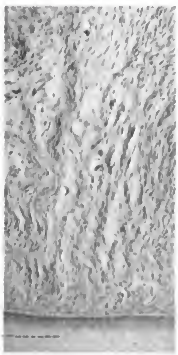
113.



11



117



118.



119.

Verlag von Arthur Felix, Leipzig.